

**PENGARUH PENAMBAHAN GAS HHO TERHADAP
UNJUK KERJA MESIN DIESEL PUTARAN KONSTAN
DENGAN VARIASI MASSA KATALIS KOH PADA
GENERATOR GAS HHO**

Nama : Fahmi Wirawan
NRP : 2108100012
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof.Dr.Ir.H.D. Sungkono K,
M.Eng.Sc.

Abstrak

Kebutuhan akan energi dewasa ini semakin besar, terutama bahan bakar minyak yang jumlah pemakaiannya sangatlah besar. Karena pentingnya ketersediaan energi bahan bakar minyak yang makin lama jumlahnya makin berkurang maka diperlukanlah bahan bakar alternatif yang dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar dan yang tidak kalah penting adalah ramah lingkungan. Salah satu bentuk penghemat bahan bakar minyak adalah penggunaan gas HHO (Brown's Gas).

Pada penelitian ini digunakan generator tipe dry cell dengan menggunakan sistem direct connection. Generator yang digunakan memiliki konfigurasi 6 cell menggunakan elektroda sejumlah 37 plat dengan bahan SS 316L berdimensi 90 x 90 mm yang diuji pada mesin diesel Yanmar TF55-di dengan volume silinder 353cc. Variasi yang digunakan adalah jumlah katalis KOH pada generator HHO dengan nilai 4 gram, 6 gram, 8 gram, 10 gram dan 12 gram. Pengukuran dilakukan pada mesin diesel putaran konstan menggunakan generator listrik dan lampu sebagai beban. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Jurusan Teknik Mesin ITS. Data yang diambil yaitu Voltase pada generator gas HHO, Ampere pada generator gas HHO, Laju Produksi Gas HHO, Voltase pada

generator listrik, Ampere pada beban lampu, dan Waktu konsumsi bahan bakar solar. Grafik unjuk kerja yang dibandingkan meliputi: Daya generator, Laju produksi gas HHO, Efisiensi generator gas HHO, Daya efektif, Torsi, Tekanan Efektif Rata-Rata, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik dan Efisiensi.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO dengan katalis KOH 12 gram per 1 liter air meningkatkan daya, torsi, dan bmep berturut-turut sebesar 19.19%, 19%, dan 19.69%. Sedangkan nilai η_{fc} serta efisiensi thermal didapat dengan mesin diesel penambahan generator gas HHO dengan katalis KOH 4 gram berturut-turut sebesar 0.88% dan 0.87%.

Kata kunci : Mesin Diesel, Unjuk Kerja, Gas HHO, Dry Cell.

**THE EFFECT OF ADDITION HHO GAS TOWARD
CONSTANT SPEED DIESEL ENGINE PERFORMANCE BY
MASS VARIATION KOH CATALYST FOR HHO GAS
GENERATOR**

Name : Fahmi Wirawan
NRP : 2108100012
Major : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Supervisor : Prof.Dr.Ir.H.D. Sungkono K,
M.Eng.Sc.

Abstract

The need for greater energy today, especially the amount of fuel use is very large. Because of the importance of energy availability of fuel oil numbers dwindle the longer it requires alternative fuels to improve fuel efficiency and no less important is environmentally friendly. One form of the fuel saver is the use of gas HHO (Brown's Gas).

In this study, the generator dry cell type by using the direct connection system. Generator used 6 cell configuration using a 37 electrode plate with 316L SS material dimension 90 mm x 90 mm were tested in diesel engines Yanmar TF55-in with 353cc cylinder volume. Variations in the amount of catalyst used was KOH at HHO generator with a value of 4 grams, 6 grams, 8 grams, 10 grams and 12 grams. Measurements were taken at a constant rotation of diesel engine using light as a power generator and a load. Tests carried out in the Laboratory of Combustion and Fuels Engineering Department of Mechanical Engineering ITS. The data is taken Voltage on HHO gas generators, Ampere on HHO gas generators, HHO gas production rate, voltage on the electric generator, Ampere at light load, and time diesel fuel consumption. Graphs that compare the performance include: power generators, HHO gas production rate, efficiency HHO gas generators, effective Power,

Torque, Mean Effective Pressure, Specific Fuel Consumption and Efficiency.

From this study it was found that the diesel engine with the addition of HHO gas generator with KOH catalyst 12 grams per 1 liter of water increases power, torque and BMEP, respectively for 19:19%, 19%, and 19.69%. While the value of sfc and thermal efficiency obtained with the addition of a diesel engine with HHO gas generator 4 grams of KOH catalyst, respectively for 0.88% and 0.87%.

Key Words : Diesel Engine, Engine Performance, HHO Gas, Dry Cell.

DAFTAR SIMBOL

I	= Arus Listrik (Ampere)
V	= Tegangan Listrik (Volt)
P	= Daya Listrik (Watt)
T	= Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
\dot{m}	= Laju Produksi Gas HHO (Kg/s)
Q	= Debit Produksi gas HHO (m^3/s)
ρ	= Massa Jenis HHO (Kg/m^3)
V	= Volume gas Terukur (m^3) atau (L)
\dot{V}	= Volume per detik (Liter/s)
t	= Waktu produksi gas HHO (s)
p	= Tekanan Gas ideal (atm)
n	= Molaritas senyawa (mol)
m	= Berat molekul gas ideal
M_r	= Massa relatif
\bar{R}	= Konstanta Gas Universal (L.atm/mol.K) $8,314 \text{ KJ/Kmol} \cdot ^{\circ}\text{K}$
STP	= Standart of Temperature and Pressure
T_{STP}	= Temperatur, 298°K
\dot{V}	= Volume per detik (Liter/s)
\dot{n}	= Molaritas senyawa per waktu (mol/s)
η_{HHO}	= Efisiensi Generator Gas HHO [%]
NKB	= Nilai Kalor Bawah (J/kg)
Δh	= Energi yang dibutuhkan untuk memecah molekul H_2O (J/mol)

Halaman ini sengaja dikosongkan

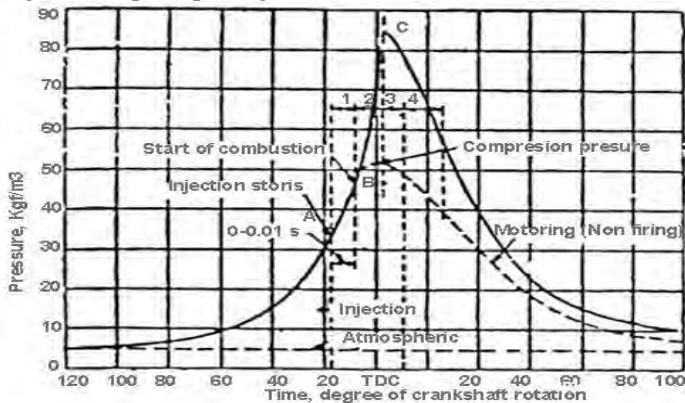
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Motor Diesel

Pada motor diesel, volume udara yang dihisap adalah selalu konstan, sedangkan jumlah udara yang diinjeksikan berubah-ubah sesuai dengan beban motor. Udara dihisap, kemudian pada saat langkah kompresi, tekanan dan temperaturnya naik diatas temperatur nyala dari bahan bakar. Sesaat sebelum piston mencapai titik mati atas (TMA), bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan tinggi sehingga terbentuk butiran-butiran bahan bakar yang lembut yang bercampur dengan udara kemudian terbakar.

2.1.1 Tahap–Tahap Proses Pembakaran

Proses pembakaran pada motor diesel dibagi atas 4 tingkatan seperti pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 tahap pembakaran mesin diesel

1. Tingkat pertama.

Ignition delay period adalah rentang waktu atau interval antara mulai diinjeksikannya bahan bakar pada tekanan tertentu sampai dengan awal terjadinya

pembakaran. Periode ini dimulai dari titik A ketika bahan bakar mulai di injeksikan ke dalam silinder dan berakhir sampai titik B dan selama periode tersebut belum terjadi pembakaran.

2. Tingkat kedua.

Rapid or uncontrolled combustion adalah periode awal dari pembakaran hingga *flame* mulai berkembang yaitu dari titik B hingga titik C. Selama periode ini, bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar berupa droplet diselubungi oleh udara bertemperatur tinggi, akibatnya droplet-droplet tersebut mulai terbakar dengan cepat secara tidak beraturan. Pembakaran tadi menyebabkan kenaikan tekanan yang cukup besar.

3. Tingkat ketiga.

Controlled combustion adalah periode *flame* mulai berkembang hingga akhir langkah penginjeksian bahan bakar. Setelah titik C, bahan bakar masih tetap diinjeksikan. Droplet-droplet yang sudah mulai terbakar pada tingkat kedua menjalankan pembakaran pada droplet lain, sehingga *flame* bergerak secara bersama menuju droplet-droplet yang baru diinjeksikan oleh injektor. Periode ini berakhir setelah injector berhenti menginjeksikan bahan bakar ke dalam ruang bakar.

4. Tingkat keempat.

After burning merupakan proses pembakaran lanjut. Secara teori, setelah tingkat ketiga atau setelah berakhirnya bahan bakar diinjeksikan, pembakaran sudah berakhir. Tetapi dikarenakan masih terdapatnya sisa-sisa bahan bakar yang belum terbakar pada tingkat ketiga, maka pembakaran terus berlanjut. Bila sisa bahan bakar belum habis,

sedangkan piston sudah melakukan langkah buang maka bahan bakar tadi menjadi *unburnt fuel*.

2.1.2 Parameter Unjuk Kerja Motor Diesel

2.1.2.1 Daya Efektif (N_e)

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran digunakan peralatan yang dinamakan dynamometer sehingga didapatkan torsi. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai Daya Efektif pada Generator (N_e). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus :

$$N_e = \frac{V \times I}{\eta_{gen} \times 1000} \text{ KWatt}$$

Dimana :

V = Tegangan listrik (Volt)
 I = Arus listrik (Ampere)
 η_{gen} = Effisiensi mekanisme generator (0,85)

2.1.2.2 Torsi (T)

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya

$$T = \frac{N_e}{2\pi n} \text{ N.m}$$

Dimana :

N_e = Daya efektif (Watt)
 n = rpm

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

2.1.2.3 Tekanan efektif rata rata (bmep)

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah Piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

Perumusan bmep adalah :

$$bmep = \frac{Ne \times z}{A \times L \times n \times i} Pa$$

Dimana :

Ne = Daya efektif (Watt)

A = Luas penampang torak (m^2)

L = Panjang langkah torak (m)

i = Jumlah silinder

n = Putaran engine (rpm)

z = 1 (mesin 2-langkah) atau 2 (mesin 4-langkah)

2.1.2.4 Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc)

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan persamaan

$$sfc = \frac{m_{bb} \times 3600}{Ne \times s} Kg / KWatt.Jam$$

Dimana:

N_e = Daya efektif (KWatt)
 m_{bb} = Massa bahan bakar (kg)
 s = Waktu konsumsi bahan bakar (detik)

2.1.2.5 Efisiensi Thermis (η_{th})

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Energi panas bahan bakar per satuan waktu yang diberi}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{1}{sfc \times NKB} \times 100\%$$

Dimana :

sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/KWatt.jam)
 NKB = nilai kalor bawah bahan bakar (kj/kg).

2.2 Bahan Bakar Mesin Diesel

Bahan bakar diesel (minyak diesel) merupakan hasil penyulingan minyak bumi kasar dan memiliki sifat pelumasan. Minyak bumi adalah hidrokarbon rantai panjang yang terdiri dari molekul-molekul hidrogen dan karbon, yang dibedakan dari titik didihnya. Bahan bakar mesin diesel sebagian besar terdiri dari senyawa hidrokarbon dan senyawa non hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang dapat ditemukan dalam bahan bakar diesel antara lain *parafinik*, *naftenik*, *olefin* dan *aromatik*. Sedangkan untuk senyawa non hidrokarbon terdiri dari senyawa yang mengandung unsur non logam, yaitu *S*, *N*, *O* dan unsur logam seperti *vanadium*, nikel dan besi.

2.2.1 Klasifikasi Bahan Bakar Mesin Diesel

Dihasilkan dari tingkat penyulingan terendah atau pencampuran hasil penyulingan dengan *residual oil*. Digunakan untuk bahan bakar mesin diesel non otomotif kecepatan rendah dan menengah yang membutuhkan kondisi kecepatan serta beban konstan.

Di Indonesia, bahan bakar untuk mesin diesel yang diproduksi Pertamina dibagi dalam 3 jenis :

a. Minyak solar

Minyak Solar biasa juga disebut *High Speed Diesel* (HSD) atau *Automotive Diesel Oil* (ADO)), digunakan untuk jenis mesin diesel putaran tinggi (lebih dari 1.000 rpm). Minyak Solar juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil dan menghasilkan pembakaran yang bersih.

b. Minyak diesel

Minyak Diesel (*Diesel Fuel*), biasa juga disebut *Industrial Diesel Oil* (IDO), digunakan untuk jenis mesin diesel putaran sedang atau lambat dengan kecepatan (300 - 1.000 rpm), atau dapat juga digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung di dalam dapur (*furnace*) boiler.

c. Minyak bakar

Minyak Bakar biasa juga disebut *Fuel Oil* (FO), digunakan untuk jenis mesin diesel putaran rendah dengan kecepatan kurang dari 300 rpm, atau dapat juga digunakan untuk pembakaran pada dapur (*furnance*) boiler. Minyak bakar lebih kental dan mempunyai titik tuang (*pour point*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel.

Bahan bakar mesin diesel produksi Pertamina didasarkan pada pembagian menurut jenis putaran mesin diesel.

Secara matematis, proses pembakaran dalam motor diesel standar diasumsikan adalah sebagai berikut:



Sedangkan pembakaran mesin diesel dengan penambahan Hidrogen diasumsikan adalah sebagai berikut :



Sehingga proses pembakaran akan menghasilkan uap air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2). Konsep diatas terjadi saat terjadi pembakaran sempurna. Padahal tidak semuanya pembakaran bisa terjadi secara sempurna, sehingga hasil dari pembakaran juga akan berpengaruh. Salah satunya adalah gas NO_x dan SO_x . Gas inilah yang berbahaya yang biasa dinamakan emisi (Nugroho, Widodo Priyo 2009).

2.2.2 Karakteristik Bahan Bakar Mesin Diesel

Karakteristik yang umum perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin diesel antara lain :

a. Density, specific gravity dan API gravity.

Densitas menunjukkan perbandingan berat per satuan volume dari suatu zat atau bahan tertentu. Sedangkan specific gravity (SG) adalah merupakan harga relatif dari densitas suatu zat atau bahan terhadap air atau udara.

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas}_{\text{bahan bakar}}}{\text{densitas}_{\text{air}}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Nilai SG dari suatu bahan bakar dapat digunakan untuk memperkirakan angka cetane melalui perhitungan cetane index (CI). Hubungan antara spesifik gravity dengan API gravity adalah untuk mencari nilai API gravity harus terlebih dahulu mengetahui besarnya specific gravity dari bahan yang akan kita hitung nilai API gravitynya.

$$API_{\text{gravity}} = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \dots\dots\dots (2.7)$$

Density, specific gravity dan API gravity diukur pada temperatur 60°F atau 15°C.

b. *Viscosity* (viskositas)

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Jika viskositas terlalu tinggi akan menyebabkan atomasi yang rendah sehingga mesin sulit di start, sedangkan jika terlalu rendah akan menyebabkan pompa injeksi cepat aus.

c. *Flash point* (titik nyala)

Flash point atau titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api. *Flash point* mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar.

d. *Pour point* (titik tuang)

Pour point atau titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. *Pour point* merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir. Selain itu terkait dengan proses penyimpanan dalam tangki dan pengaliran pada suatu pipa.

e. *Sulphur content* (kandungan belerang)

Kandungan belerang dalam bahan bakar diesel dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang

akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang kontak dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Hal lain yang lebih penting adalah timbulnya polusi bagi lingkungan hidup yang merupakan hasil pembakaran.

f. *Distillation* (distilasi)

Karakteristik destilasi dari bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar berubah menjadi uap (*volatility*) pada temperatur tertentu. Nilai dari mid boiling atau 50% recovery dapat digunakan untuk menghitung nilai cetane index.

g. *Cetane number* (angka cetana)

Angka cetana merupakan derajat kemampuan suatu bahan bakar untuk dapat terbakar dengan sendirinya karena tekanan dan temperatur tinggi. Atau menyatakan perlambatan penyalaan (*ignition delay*) dibandingkan dengan campuran volumetris *cetane* ($C_{16}H_{34}$) dan α -*methylnaphthalene* ($C_{10}H_7CH_3$) yang diuji pada CFR *engine* pada kondisi yang sama. *Cetane* mempunyai nilai 100 dan α -*methylnaphthalene* mempunyai nilai 0, tetapi referensi yang digunakan sekarang adalah *heptamethylnonane* yang mempunyai nilai 15. Angka cetana merupakan ukuran kemampuan penyalaan dari bahan bakar mesin diesel. Nilai cetana yang tinggi menyebabkan *ignition delay* yang pendek, sedangkan nilai cetana yang rendah menimbulkan *knocking* pada diesel. Karena keterbatasan peralatan nilai cetana bisa diperkirakan dengan menggunakan perhitungan *cetane index*.

h. *Calorific value* (nilai kalor)

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Dari bahan bakar yang ada dibakar, nilai kalor yang terkandung akan diubah menjadi energi mekanik

melalui kerja komponen mesin. Besarnya nilai kalor atas diuji menggunakan bomb calorimeter. Sedangkan untuk nilai kalor bawah (NKB) menggunakan persamaan :

$$NKB = (16610 + 40 (^\circ API)) 0.55556 (\text{kCal / Kg}) \dots\dots (2.8)$$

dimana :

NKB = Nilai Kalor Bawah bahan bakar (kCal/kg)

$^\circ\text{API}$ = API gravity, suatu bilangan yang menyatakan density dari suatu cairan.

i. *Carbon residue* (residu karbon)

Adanya residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin. Pada temperatur tinggi deposit karbon ini dapat membara, sehingga menaikkan temperatur silinder pembakaran. Banyaknya deposit atau kerak yang ada di ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan residu karbon dari suatu bahan bakar.

j. *Ash content* (kadar abu)

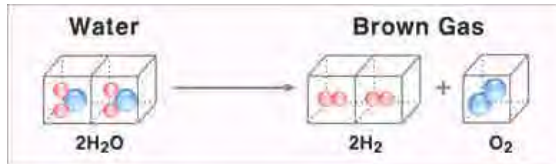
Kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu minyak dibakar sampai habis.

2.3 Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)

Air adalah senyawa yang penting bagi semua bentuk kehidupan sampai saat ini. Air menutupi hampir 71% permukaan bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik (330 juta mil³) tersedia di Bumi. Air merupakan suatu senyawa kimia H₂O yang sangat istimewa, yang di dalam kandungannya terdiri dari senyawa Hidrogen(H₂), dan senyawa Oksigen (O₂). Kedua senyawa yang membentuk air ini merupakan komponen pokok dan mendasar dalam memenuhi kebutuhan seluruh makhluk hidup sebagai sumber energi.

Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H₂O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (HHO) (*Peter E.W Lowrie, 2005*) seperti pada gambar 2.2. Oleh karena itu gas HHO

juga lebih dikenal dengan nama *Brown Gas*, selain itu gas HHO juga dikenal dengan sebutan oxy-hydrogen.



Gambar 2.2 Pemecahan Molekul Air menjadi Gas HHO

Pada tahun 1805, Isaac de rivaz (1752-1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil elektrolisis air sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal yang ia rancang dan ia buat sendiri (Poempida Hidayatullah dan F.Mustari, 2008). Pada saat itu bahan bakar fosil belum ditemukan. Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama *Brown gas*. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan *brown gas* untuk pengelasan (*cutting and welding torch*).

Adapun perbandingan nilai energi yang dimiliki oleh hidrogen paling besar diantara *gas fuel* yang lain, seperti pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Perbandingan Nilai Properti Termokimia Pada Kondisi Atmosfer.

TABLE A-25 Thermochemical Properties of Selected Substances at 298K and 1 atm

Substance	Formula	Molar Mass, M (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, \bar{h}_f° (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, \bar{g}_f° (kJ/kmol)	Absolute Entropy, S° (kJ/kmol · K)	Heating Values	
						Higher, HHV (kJ/kg)	Lower, LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	5.74	32,770	32,770
Hydrogen	H ₂ (g)	2.016	0	0	130.57	141,780	119,950
Nitrogen	N ₂ (g)	28.01	0	0	191.50	—	—
Oxygen	O ₂ (g)	32.00	0	0	205.03	—	—
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	-110,530	-137,150	197.54	—	—
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	44.01	-393,520	-394,380	213.69	—	—
Water	H ₂ O(g)	18.02	-241,820	-228,590	188.72	—	—
Water	H ₂ O(l)	18.02	-285,830	-237,180	69.95	—	—
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂ (g)	34.02	-136,310	-105,600	232.63	—	—
Ammonia	NH ₃ (g)	17.03	-46,190	-16,590	192.33	—	—
Oxygen	O(g)	16.00	249,170	231,770	160.95	—	—
Hydrogen	H(g)	1.008	218,000	203,290	114.61	—	—
Nitrogen	N(g)	14.01	472,680	455,510	153.19	—	—
Hydroxyl	OH(g)	17.01	39,460	34,280	183.75	—	—
Methane	CH ₄ (g)	16.04	-74,850	-50,790	186.16	55,510	50,020
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,910	48,220
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,300	47,160
Ethane	C ₂ H ₆ (g)	30.07	-84,680	-32,890	229.49	51,870	47,480
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	62,720	266.94	48,920	45,780
Propane	C ₃ H ₈ (g)	44.09	-103,850	-23,490	269.91	50,350	46,360
Butane	C ₄ H ₁₀ (g)	58.12	-126,150	-15,710	310.03	49,500	45,720
Pentane	C ₅ H ₁₂ (g)	72.15	-146,440	-8,200	348.40	49,010	45,350
Octane	C ₈ H ₁₈ (g)	114.22	-208,450	17,320	463.67	48,260	44,790
Octane	C ₈ H ₁₈ (l)	114.22	-249,910	6,610	360.79	47,900	44,430
Benzene	C ₆ H ₆ (g)	78.11	82,930	129,660	269.20	42,270	40,580
Methyl alcohol	CH ₃ OH(g)	32.04	-200,890	-162,140	239.70	23,850	21,110
Methyl alcohol	CH ₃ OH(l)	32.04	-238,810	-166,290	126.80	22,670	19,920
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(g)	46.07	-235,310	-168,570	282.59	30,590	27,720
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH(l)	46.07	-277,690	174,890	160.70	29,670	26,800

Source: Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971; Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties, NBS Tech.

Note 270-3, 1968; and API Research Project 44, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

2.3.1 Proses Elektrolisis Air untuk Memproduksi gas HHO

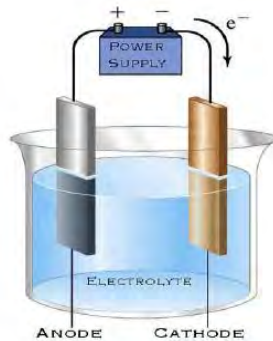
Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik (*Anne Marie Helmenstine, 2001*). Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air (H₂O) menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂). Elektrolisis air pada

dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis.

- Reaksi oksidasi di anoda (+) : $2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{O}_{2(g)} + 4 \text{H}^+_{(aq)} + 4 \text{e}^-$
- Reaksi reduksi di katoda (-) : $2 \text{H}^+_{(aq)} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(g)}$
- Reaksi keseluruhan : $2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 2 \text{H}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$

Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH atau NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ($\text{H}_{2(g)}$) dan anion OH^- . Anion OH^- tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, Reaksi kimia pada proses elektroliser alkalin (KOH) dan rangkaian dasar sistem elektronika pada proses elektrolisa Gambar 2.3 ditunjukkan sebagai berikut :

- Pada elektroda katoda: $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$
- Pada elektroda anoda: $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O}$
- Reaksi keseluruhan: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

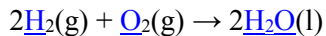


Gambar 2.3 Rangkaian Dasar Sistem Elektrolisa

Tetapi jika elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti NaCl, KCl, dan Na₂CO₃, maka akan terjadi reaksi asam dan basa. Dari kedua reaksi asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisa 2 mol H₂O memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada kedua jenis reaksi diatas gas Hidrogen juga dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen dihasilkan pada elektroda positif (anoda).

2.3.2 Karakteristik Gas HHO

Gas HHO terdiri dari gas hidrogen dan Oksigen, dengan perbandingan komposisi mol 2:1. Perbandingan ini adalah perbandingan yang stoikiometri untuk terjadinya reaksi pembakaran (Oksidasi) gas hidrogen oleh gas oksigen. Reaksi pembakaran pada gas HHO pada dasarnya adalah reaksi terikatnya kembali hidrogen pada oksigen untuk membentuk molekul air. Sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut ini:



Persamaan reaksi kimia tersebut merupakan kebalikan dari persamaan kimia pada elektrolisis air. Jika pada proses elektrolisa untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen dihasilkan sejumlah energi. Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu : tidak berwarna, mudah terbakar (*flammable*), sangat ringan, dan sangat mudah bereaksi dengan zat kimia lainnya. Namun gas HHO pada kondisi normal tidak akan terbakar dengan sendirinya tanpa ada sulutan api. Seperti ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Properties Gas hidrogen pada Kondisi Temperatur dan Tekanan Standar

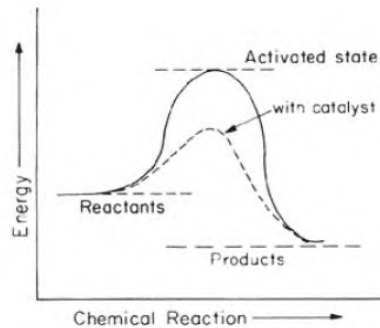
Reference temperature	68°F	527.7° R	293.1° K
Standard pressure (1 atm) psia	14.69 kPa	101.325 abs	
Density (at 527.7° R & 1 atm)	.00523 lb/ft ³	83.7 g/m ³	
Specific Volume (at 527.7° R & 1 atm)	191.4 ft ³ /lb	0.0119 m ³ /g	
Specific Heat	Cp= 3.425 Btu/lb-R Cv= 2.419 Btu/lb-R	Cp= 14.33 J/g-k Cv= 10.12 J/g-k	
Velocity of Sound	4246 ft/sec	1294 m/sec	
Heat of Combustion	Low = 51596 Btu/lb High = 61031 Btu/lb	Low= 119.93 kJ/g High= 141.86 kJ/g	
Flammability limits Hydrogen-air mixture Hydrogen-oxygen mixture	Lower= 4.0 % volume Lower= 4.0 % volume	Upper= 75 % volume Upper= 95 % volume	
Explosive limits Hydrogen-air mixture Hydrogen-oxygen mixture	Lower= 18.3 % volume Lower= 15.0 % volume	Upper= 59 % volume Upper= 90 % volume	
Minimum spark ignition energy at 1 atm			
In air	1.9×10^{-8} Btu	0.02 mJ	
In Oxygen	6.6×10^{-9} Btu	0.007 mJ	

*Sumber: NASA Glenn Research Center Glenn Safety Manual
(Ken O'Connor , 2006)*

2.3.3 Larutan Elektrolit Sebagai Katalis

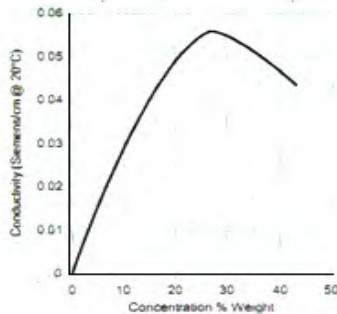
Pada proses elektrolisis air, katalis yang digunakan adalah larutan elektrolit. Elektrolit dapat didefinisikan sebagai konduktor listrik, dimana arus listrik dibawa oleh pergerakan ion (*Kiran Sampat Gaikwad , 2004*). Dengan melarutkan elektrolit di dalam air akan meningkatkan konduktifitas listrik dari air. Oleh karena itulah dengan penambahan elektrolit sebagai katalis pada proses elektrolisis akan menurunkan energi yang dibutuhkan, sehingga laju reaksi pemecahan molekul air menjadi lebih cepat seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah. Dan apabila jumlah elektrolit yang dilarutkan ke air semakin banyak maka

konduktifitas listrik dari air akan semakin tinggi, maka laju produksi gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air juga akan semakin meningkat, akan tetapi jika elektrolite yang dilarutkan ke air terlalu banyak maka energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO akan semakin besar karena larutan elektrolit akan semakin jenuh sehingga pergerakan ion-ion di dalamnya menjadi terhambat.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Reaksi Kimia terhadap Energi yang Dibutuhkan untuk Terjadinya Reaksi (sumber: J.R. Rossum, 2000)

Banyak jenis katalis yang digunakan pada proses elektrolisis. Diantaranya yang sering digunakan yaitu sodium bikarbonat (NaHCO_3), natrium hidroksida (NaOH), dan kalium hidroksida (KOH). Selain itu, katalis tersebut berfungsi untuk mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi ion H dan OH yang lebih mudah dielektrolisis. Dengan kata lain energi untuk menguraikan air menjadi lebih rendah. Tampak pada grafik gambar 2.5 dibawah ini bahwa konduktivitas listrik tertinggi berada disekitar 20%-30% dan dapat diuji dengan hidrometer baterai yang harus mempunyai spesifik gravity 1,1.



Gambar 2.5 Hubungan Konsentrasi KOH dan Konduktivitas (Pyle,dkk. 1994)

Energi aktivasi adalah yang harus dilampaui agar reaksi kimia dapat terjadi. Energi aktivasi bisa juga diartikan sebagai energi minimum yang dibutuhkan agar reaksi kimia dapat terjadi. Sedangkan energi total sangat berpengaruh dengan banyaknya jumlah massa katalis KOH dalam air aquades. Semakin banyak massa KOH meningkatkan konduktifitas dari larutan tersebut sehingga energinya semakin besar dan akibatnya laju produksinya semakin besar.

2.3.4 Pemilihan Stainless Steel Sebagai Elektroda

Elektroda merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada proses elektrolisis air. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke air yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutup yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air. Sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktifitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik.

Stainless steel pada dasarnya adalah baja paduan logam besi (Fe) dengan unsur paduan utama Carbon (C), Nikel (Ni), dan

Chromium (Cr). Stainless Steel merupakan logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik di banding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya seperti ditunjukkan pada tabel 2.3 dibawah ini dan harganya juga relatif lebih terjangkau.

Tabel 2.3 Standard Komposisi Stainless Steel

Designation	Type	Composition weight-%						Others
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	
AISI 300 Series:								
AISI 304	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	—
AISI 304L	Austenitic	18-20	8-12	—	<0.03	2	1	—
AISI 321	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Ti = 5 × wt-% C
AISI 347	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Nb = 10 × wt-% C
AISI 316	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.08	2	1	—
AISI 316L	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.02	2	1	—
AISI 317	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.08	2	1	—
AISI 317L	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.03	2	1	—
AISI 310	Austenitic	24-26	19-22	—	<0.25	2	1.5	—
AISI 330	Austenitic	17-20	34-37	—	<0.08	2	1.5	—
AISI 200 Series:								
AISI 201	Austenitic	16-18	3.5-5.5	—	0.15	5.5-7.5	1	+ 0.25 N
AISI 202	Austenitic	17-19	4-6	—	0.15	7.5-10	1	+ 0.25 N
AISI 400 Series:								
AISI 409	Ferritic	10.5-11.7	<1	—	<0.08	1	1	—
AISI 430	Ferritic	16-18	<1	—	<0.08	1	1	—
AISI 434	Ferritic	16-18	<1	0.8-1.2	<0.08	1	1	—
AISI 410	Martensitic	11.5-13.5	<1	—	0.15	1	1	—
AISI 431	Martensitic	15-17	1.2-2.5	—	0.20	1	1	—
Duplex Steels:								
Steel 1	Duplex	25	6.0	3.0	<0.08	—	—	1.5 Cu + 0.25 N
Steel 2	Duplex	25	5.5	3.0	<0.08	—	—	—
Precipitation-Hardening Steels:								
Steel 1	Precipitation	16	4.2	—	0.04	0.5	0.5	3.5 Cu
Steel 2	Precipitation	15	4.5	—	0.04	0.3	0.4	3.5 Cu + Nb

Note: All steels: %P < 0.04%, %S < 0.03%.

Sumber: Corosion Science and Technology (David Tabolt, 1998)

Secara garis besar Stainless dapat dibagi menjadi lima kelompok (*Harrold M. Cobb, 1999*), yaitu:

1. Austenitic Stainless Steel.
2. Ferritic Stainless Steel.
3. Martensitic Stainless Steel.
4. Duplex Stainless Steel (austenitic-ferritic).
5. Precipitation Hardening Stainless Steel.

Setiap kelompok stainless steel terbagi lagi menjadi beberapa type dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.3.

Untuk setiap tipe stainless steel mempunyai kandungan dan karakteristik yang berbeda begitu pula dengan konduktifitas listrik dan ketahanannya terhadap korosi.

Berdasarkan tabel 2.3 diatas dapat dilihat bahwa stainless steel Type 316 dan 316L mempunyai ketahanan korosi diberbagai lingkungan, sehingga stainless steel tipe ini sangat cocok digunakan sebagai elektroda pada proses elektrolisa air untuk memproduksi gas HHO.

Salah satunya Stainless steel tipe SS 316L merupakan stainless steel yang relatif banyak tersedia dipasaran. SS 316L merupakan stainless steel yang memiliki ketahanan terhadap korosi sangat baik sehingga dapat dijadikan sebagai elektroda Generator HHO.

2.4 Generator HHO

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai segala macam yang berkaitan dengan generator gas HHO.

2.4.1 Prinsip Kerja Generator Gas HHO

Secara umum generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator gas HHO dan sumber tenaganya. Tabung generator gas HHO terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit. Sedangkan sumber energi dapat berupa baterai ataupun aki.

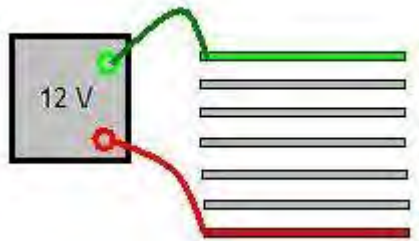
Generator gas HHO bekerja dengan prinsip elektrolisa air. Proses elektrolisis air pada generator gas HHO menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Seiring berjalannya waktu, proses elektrolisis terus berlangsung hingga volume dan gelembung gas hidrogen dan oksigen yang melekat pada elektroda akan bertambah, kemudian terlepas mengambang, dan akhirnya bergerak naik.

Sebagian ahli menyebutkan bahwa gas yang tercipta akan berikatan satu sama lain menjadi gas HHO. Gas HHO terdiri dari dua ion H^+ yang berikatan magnetik (ikatan magnetik) dan mengikat satu ion O_2^- (R.M.Santili, 2006), berbeda dengan

molekul H_2O yang tersusun atas dua ion H^+ diikat oleh satu ion O_2^- dengan ikatan kovalen. Pendapat ini masih terus diperdebatkan karena belum ada alat untuk membuktikan bahwasannya kedua gas tersebut berikatan sebagaimana pengertian gas HHO. Maka dari itu, dalam penulisan penelitian ini, gas Hidrogen dan Oksigen yang terbentuk diasumsikan tidak berikatan satu sama lain, dan selanjutnya campuran kedua gas tersebut tetap disebut sebagai *Gas HHO*.

2.4.2 Generator HHO Berbentuk Susunan Pelat Dengan Netral Pelat

Generator HHO yang banyak digunakan pada penelitian-penelitian terdahulu menggunakan elektroda spiral. Baru-baru ini mulai dikembangkan elektroda bentuk pelat yang menjadi terobosan baru untuk Generator HHO selanjutnya. Generator yang digunakan saat ini menggunakan sistem cell seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 dan 2.7. Yaitu dalam satu *cell* terdapat katoda, anoda, dan netral plat. Fungsi dari netral plat ini untuk membagi nilai *voltage*. Generator yang digunakan memiliki konfigurasi 6 cell dengan 5 netral plat.



Gambar 2.6 Satu cell generator memiliki katoda serta anoda dan memiliki 5 netral plat



Gambar 2.7 Generator HHO Elektroda Pelat

2.4.3 Daya yang Dibutuhkan Generator HHO (P_{HHO})

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan proses elektrolisis air dibutuhkan energi listrik. Jika generator HHO dipasang pada kendaraan bermotor, sumber energi listrik diambil dari baterai aki. Akan tetapi, karena aki merupakan sumber arus searah yang terbatas pengaturannya, maka pada penelitian ini sumber arus langsung dari alternator sepeda motor yang bisa memberikan arus bolak-balik. Arus bolak-balik inilah yang diatur dengan komponen kontrol yang dibutuhkan untuk mengatur besarnya tegangan dan arus sesuai yang diinginkan. Semakin besar ukuran mesin kendaraan, energi listrik yang dihasilkan dari engine akan semakin besar, sehingga arus yang dialirkan ke generator juga semakin besar.

Energi listrik dari alternator dipergunakan untuk sistem kelistrikan dan pengapian di kendaraan (seperti lampu, pengisian baterai, dan api pada busi). Namun sebagian energi listrik tersebut dapat dipergunakan sebagai sumber tegangan untuk generator HHO. Energi listrik tersebut jumlahnya terbatas, sehingga generator HHO yang dipasang pada kendaraan dayanya harus

dibatasi. Begitu pula ketika generator HHO digunakan pada engine penggerak generator, listrik yang dihasilkan oleh generator semaksimal mungkin agar dapat digunakan untuk menyalakan beban. Oleh karena itu harus diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO.

Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = Beda potensial/voltase (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

2.4.4 Laju Produksi (*flowrate*) Gas HHO (\dot{m}_{HHO})

Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kerja dari generator HHO, maka perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator itu sendiri.

Untuk menghitung *mass flowrate* gas HHO dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\dot{m} = Q \times \rho \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

\dot{m} = Laju Produksi Gas HHO (Kg/s)

Q = Debit Produksi gas HHO (m³/s)

ρ = Massa Jenis HHO (Kg/m³)

dengan perumusan Debit Produksi gas HHO :

$$Q = V/t \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

V = Volume gas Terukur (m³)

t = Waktu produksi gas HHO (s)

Dari persamaan kimia reaksi elektrolisis air berikut ini dapat dihitung seberapa besar kandungan massa H_2 dalam gas HHO. Jika massa H_2O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka massa produk total H_2 dan O_2 juga 1 kg, sehingga jika diketahui $Mr\ H_2O=18$, $Mr\ H_2=2$, $Mr\ O_2=32$, maka didapatkan mole H_2 :

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$

$$mol = \frac{massa}{Mr} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air dapat dihitung berapa massa H_2 dalam 1 kg gas HHO, yaitu:

$$m_{H_2} = MrH_2 \times mol = 2 \times \frac{1kg}{18} = \frac{1}{9} kg$$

Jika pada STP massa jenis H_2 diketahui sebesar $\rho_{H_2}=0,08235$ gr/Ltr dan O_2 sebesar $\rho_{O_2}=1,3088$ gr/Ltr (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka ρ_{HHO} dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \rho_{HHO} &= \frac{m_{HHO}}{V_{HHO}} = \frac{(m_{H_2} + m_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot V_{H_2} + \rho_{O_2} \cdot V_{O_2})}{V_{HHO}} \\ &= \frac{(\rho_{H_2} \cdot \frac{2}{3} V_{HHO} + \rho_{O_2} \cdot \frac{1}{3} V_{HHO})}{V_{HHO}} = \frac{2}{3} \rho_{H_2} + \frac{1}{3} \rho_{O_2} \\ \rho_{HHO} &= (2/3 \times 0,08235 \text{ gr/L}) + (1/3 \times 1,3088 \text{ gr/L}) = 0,491167 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

2.4.5 Efisiensi Generator HHO (η_{HHO}), [%]

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang diberikan pada suatu sistem. Adapun kegunaan penghitungan efisiensi suatu alat-alat konversi energi adalah untuk mengetahui seberapa optimal alat tersebut dapat bekerja.

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H_2 dan O_2 mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Pada sub bab sebelumnya dijelaskan tentang karakteristik gas HHO yang cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H_2), karena kandungan H_2 sebesar $2/3$ volume gas HHO.

Produk gas HHO yang terukur pada flowmeter dalam satuan ml/sec, dan energi yang diberikan untuk memproduksi gas HHO adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan Watt(J/sec).

Pada reaksi penguraian air : $H_2O \rightarrow H_2 + 0,5O_2 = +286$ KJ/mol adalah reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi bernilai positif. Energi entalpi yang dihasilkan sebesar 286 KJ per gmole H_2O . Reaksi endoterm adalah reaksi yang menyerap energi dari sistem. Untuk mengelektrolisis H_2O membutuhkan energi yaitu berupa tegangan listrik.

Lalu untuk nilai energi ikatan yang dibutuhkan dapat diketahui melalui perumusan dibawah ini :

$$p \times V = \dot{n} \times \bar{R} \times T \dots\dots\dots(2.13)$$

Jika persamaan 2.5 ditinjau persatuan waktu, maka :

$$p \times \dot{V} = \dot{n} \times \bar{R} \times T \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\dot{n} = \frac{p \times \dot{V}}{\bar{R} \times T} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : p = Tekanan Gas ideal (1atm = 100 kPa)

\dot{V} = Volume per satuan waktu (liter/s)

\bar{R} = Konstanta Gas ideal (8.314472 J/mol.K)

\dot{n} = Mol per satuan waktu (Mol/s)

T = 298 K (STP)

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memecah 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam KiloJoule per mol (KJ.mol⁻¹). Untuk menghilangkan nilai per mol dari enthalpidan menyamakan nilai input dari daya dengan satuan watt (Joule per second), maka volume gas dan mol diberi satuan per waktu.

Maka untuk menghitung nilai efisiensi generator HHO dapat diketahui dari perumusan berikut ini :

$$\eta_{\text{Gen}} = \frac{\Delta h_f \times \dot{n}}{V \times I} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

ΔH_f = Besarnya energi yang digunakan untuk memisah 1 mol ikatan molekul (286 KJ/Mol)

\dot{n} = Mol per satuan waktu (Mol/s)

V = Beda potensial generator HHO (Volt)

I = Arus listrik pada generator HHO (Ampere)

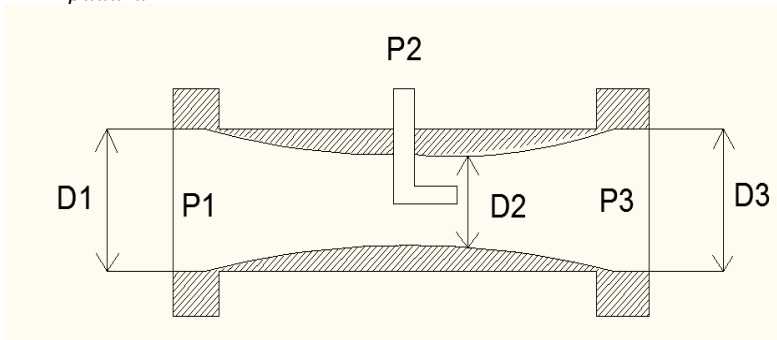
2.5 Teori Kesesuaian Gas HHO Dengan Kevakuman Mesin Diesel

Adanya kevakuman pada bubler dapat menyebabkan perubahan fase larutan elektrolit pada temperatur tertentu. Berikut ini adalah perhitungan untuk menghitung kevakuman pada mixer :

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_1^2}{2} \times \frac{A_1}{A_2} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\frac{P_2}{\rho_2} = \frac{P_1}{\rho_1} + \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2}\right) \frac{v_1^2}{2} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$V1 = \frac{m1}{\rho_{udara} \cdot A1} \dots\dots\dots(2.19)$$



Gambar 2.8 Keterangan mixer gas

Pada mixer gas diketahui bahwa diameter 1 pada mixer adalah sebesar 28 mm sedangkan pada diameter 2 sebesar 20 mm. Maka Luas lingkaran 1 dan 2 diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D1 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} 3.14 (0.028m)^2 \\ &= 6.15 \times 10^{-4} m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D2 &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} 3.14 (0.02m)^2 \\ &= 3.14 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Mencari besarnya jumlah udara dihisap mesin selama 1 menit :

$$V_{\text{silinder}} = 353 \text{ cc} = 353 \times 10^{-6} m^3$$

Diketahui besarnya putaran mesin adalah 2045 rpm, karena mesin menggunakan siklus 4 langkah maka banyaknya langkah hisap adalah jumlah putaran dibagi 2 yaitu sebanyak 1022 kali per menit.

Menghitung besarnya volume yang dihisap per detik :

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= V_{\text{silinder}} \times 1022 \frac{\text{kali}}{\text{menit}} \\ &= 353 \times 10^{-6} m^3 \times 1022 \frac{\text{kali}}{\text{menit}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 360766 \times 10^{-6} \frac{m^3}{\text{menit}} \\
 &= 0.3607 \frac{m^3}{\text{menit}} \\
 &= 0.3607 \frac{m^3}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}} \\
 &= 6.011 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{detik}}
 \end{aligned}$$

Menghitung besarnya massa per detik :

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_1 &= \dot{V} \times \rho \\
 &= 6.011 \times 10^{-3} \frac{m^3}{\text{detik}} \times 1.2 \frac{Kg}{m^3} \\
 &= 7.214 \times 10^{-3} \frac{Kg}{m^3}
 \end{aligned}$$

Menghitung besarnya v_1 :

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{\dot{m}_1}{\rho_{udara} \times A_1} \\
 &= \frac{7.214 \times 10^{-3} \frac{Kg}{s}}{1.2 \frac{Kg}{m^3} \times 6.1544 \times 10^{-4} m^2} \\
 &= 9.768 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

Menghitung besarnya P_2 :

$$\begin{aligned}
 \frac{P_2}{\rho_2} &= \frac{P_1}{\rho_1} + \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2}\right) \frac{v_1^2}{2} \\
 \frac{P_2}{1.2 \frac{Kg}{m^3}} &= \frac{101325 Pa}{1.2 \frac{Kg}{m^3}} + \left(1 - \frac{6.15 \times 10^{-4} m^2}{3.14 \times 10^{-4} m^2}\right) \times \frac{95.413 m^2}{2 s^2} \\
 \frac{P_2}{1.2 \frac{Kg}{m^3}} &= \frac{101325 Pa}{1.2 \frac{Kg}{m^3}} + (-0.958 \times 47.706 \frac{m^2}{s^2}) \\
 P_2 &= 101325 Pa - (45.73 \frac{m^2}{s^2} \times 1.2 \frac{Kg}{m^3}) \\
 P_2 &= 101325 Pa - 5.676 Pa \\
 P_2 &= 101319.32 Pa = 101.319 KPa
 \end{aligned}$$

Diketahui bahwa tekanan pada P2 sebesar 101.319 KPa, berdasarkan tabel 2.4 maka temperatur air pada suhu 73°C dan tekanan sebesar 101.319 KPa air belum berubah fase menjadi uap atau gas. Pada tekanan ini air akan berubah fase ketika mendekati 100°C.

Tabel 2.4 Saturated Water

Temp., T °C	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $kJ/kg \cdot K$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542

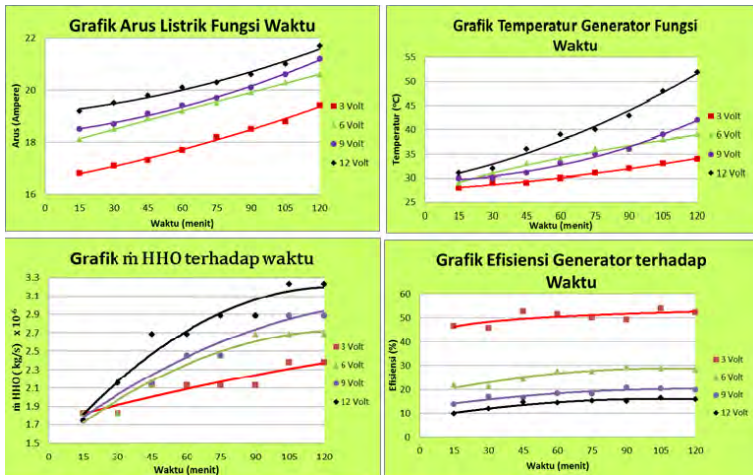
Dalam penelitian ini diperlukan pembahasan mengenai karakter gas yang masuk dalam ruang bakar mesin diesel terutama masalah volume silinder. Sebagai contoh mesin diesel yang digunakan diset pada putaran 2045 rpm sedangkan gas HHO yang dihasilkan adalah 1.071 liter/menit. Dengan putaran 2045rpm mesin 4 langkah maka dalam 1 menit mesin diesel melakukan langkah hisap sebanyak 511 kali. Apabila dikalikan dengan besarnya volume silinder maka jumlah udara yang dihisap sebesar 180.383 liter/menit. Karena produksi gas HHO sejumlah 1.071 liter/menit maka keseluruhan gas tersebut akan masuk keruang bakar. Jumlah udara yang dihisap oleh mesin diesel harus lebih besar dari jumlah gas HHO yang dihasilkan.

2.6 Penelitian Terdahulu

Pada sub bab ini akan di tampilkan beberapa hasil penelitian - penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.

Ary Putra Septiawan, Teknik Mesin ITS (2011)

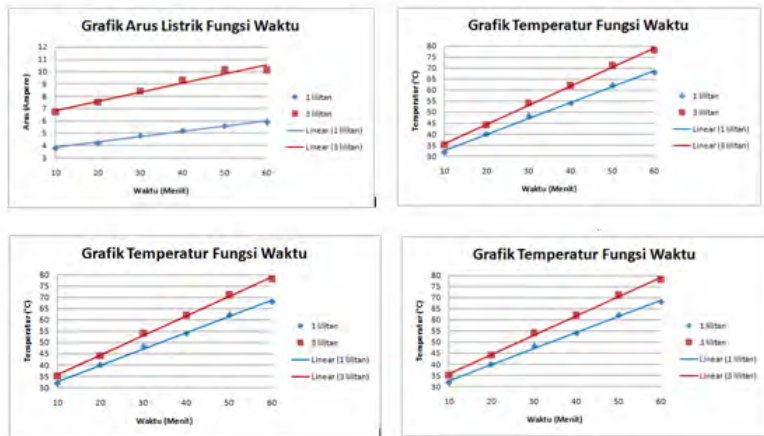
Penelitian ini melakukan pengujian pengaruh variasi tegangan listrik arus searah (DC) yang digunakan di generator HHO untuk diaplikasikan pada engine. Katalis yang digunakan adalah KOH 0.7 gram dalam setiap 1 liter aquades. Variasi tegangannya u 3 Volt,6 Volt,9 Volt dan 12 Volt. Generator HHO menggunakan elektroda dari SS304, dan diameter kawat 3 mm serta panjang kawat 1250 mm, dan diameter spiral yang digunakan 16 mm (spiral dalam) dan 27 mm (spiral luar). Dari pengujian didapatkan bahwa pada variasi tegangan 3 Volt menghasilkan temperatur elektrolit setelah pengujian yang paling rendah yaitu 34°C. Tegangan 12 Volt menghasilkan laju produksi gas HHO yang paling tinggi yaitu $3,23 \times 10^{-6}$.



Gambar 2.9 Grafik dari Hasil Penelitian Ary Putra Septiawan

Akhmad Al Fattah, Teknik Mesin ITS (2012)

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan mengaplikasikan generator HHO pada mesin Honda Karisma 125 cc. Pada generator HHO tersebut menggunakan variasi jumlah lilitan kawat. Tipe kawat yang digunakan SS 304L dan elektrolit KOH sebanyak 0.7 gram per liter aquades. Hasilnya didapatkan generator HHO 3 pasang lilitan merupakan yang terbaik karena bisa meningkatkan unjuk kerja mesin bensin paling besar. Untuk hasilnya, pada torsi, daya, BMEP terjadi kenaikan sebesar 18,54%,14,94% dan 14,94%. Pada BSFC dan efisiensi termal terjadi peningkatan kualitas rata-rata sebesar 23,63%. Sedangkan untuk kadar gas buang CO dan HC terjadi penurunan sebesar 17,02% dan 12,28%.



Gambar 2.10 Grafik dari hasil Penelitian Ahmad Al-Fattah

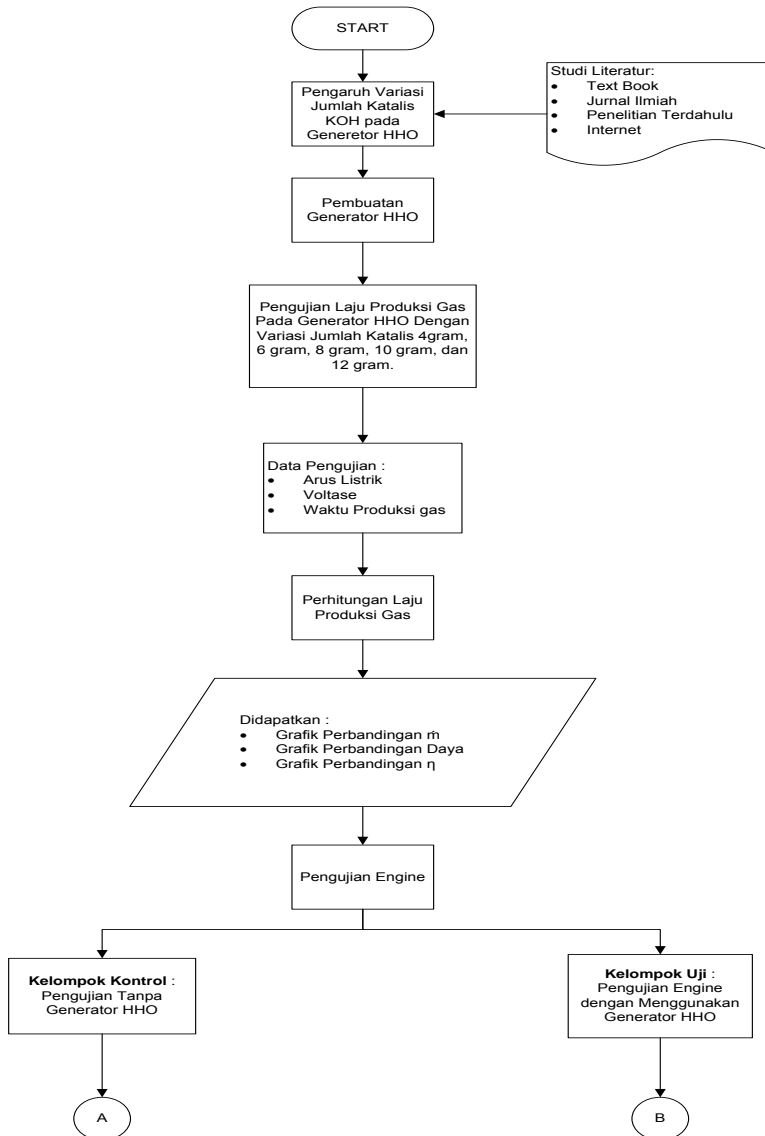
BAB III

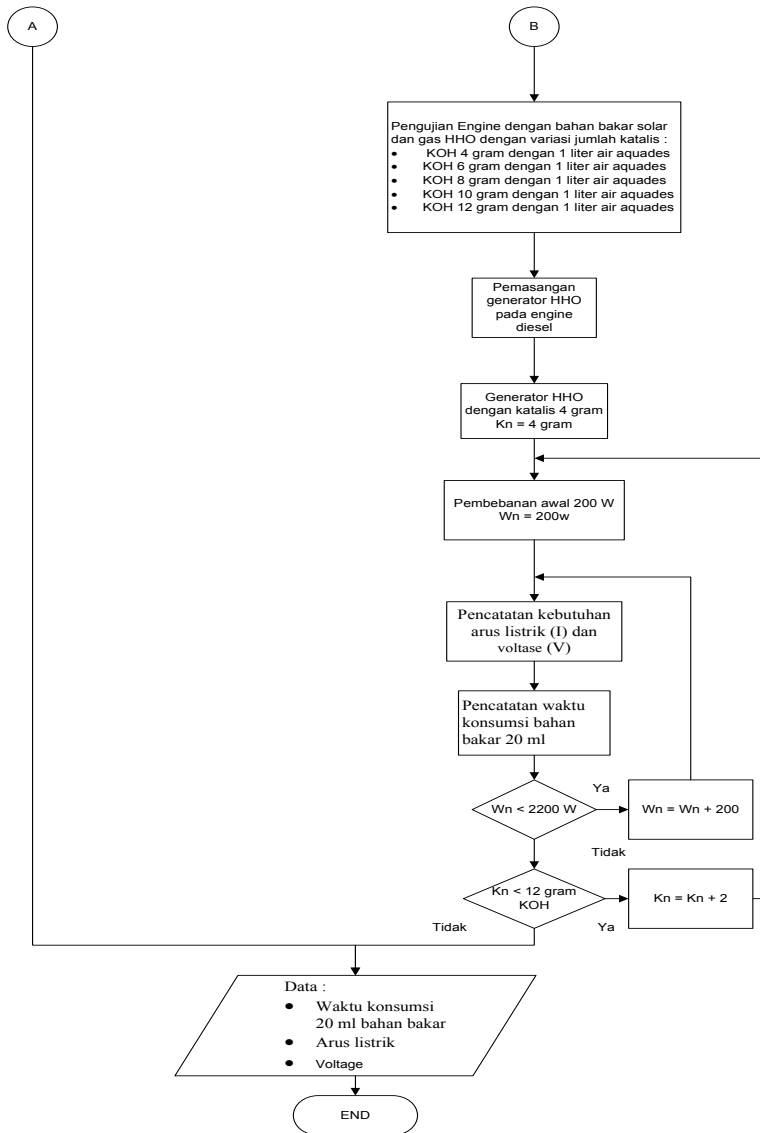
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh jumlah masa katalis KOH terhadap performa generator HHO. Variasi katalis yang digunakan 4 gram, 6 gram, 8 gram, 10 gram, dan 12 gram . Masing-masing kelompok katalis dicampur dengan 1 liter air aquades. Selain itu juga dilakukan pengujian pengaruh penambahan generator HHO tersebut pada mesin diesel putaran konstan. Bahan elektroda yang digunakan yaitu SS 316L. Penelitian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Teknik Mesin ITS.

3.1 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

Pada Diagram Alir (Flowchart) dibawah ini akan menjelaskan tentang urutan-urutan yang akan dilakukan dalam penelitian ini :





3.2 Pengujian Flowrate pada generator HHO

Sub bab ini berisi tentang pengujian yang dilakukan untuk mengetahui laju produksi gas HHO.

3.2.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain:

1. Generator HHO

Generator HHO yang digunakan memiliki properties yakni elektroda yang digunakan terbuat dari material yang tahan terhadap korosi dan memiliki konduktifitas listrik yang baik serta tersedia di pasaran (SS316L) yang berbentuk plat kemudian diuji dengan memvariasikan katalis KOH yang dialirkan ke generator HHO. Generator ini memiliki 6 *cell* dan masing-masing *cell* memiliki 5 netral plat.



Gambar 3.1 Elektroda SS 316L Berbentuk Plat

2. Reserve Tank

Tandon (reserve tank) merupakan wadah cadangan air murni dan dihubungkan dengan generator HHO menggunakan selangkaret, fungsinya untuk menjaga jumlah larutan elektrolit di dalam generator HHO. Jadi, jika jumlah larutan elektrolit dalam generator HHO mulai berkurang

maka dengan sendirinya larutan elektrolit dari reserve tank akan mengisi ke dalam generator HHO.



Gambar 3.2 *Reserve Tank*

4. Transformator AC ke DC

Alat ini merupakan *transformator step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari 220 volt menjadi 12 volt dan diberi dioda penyearah untuk merubah arus listrik AC (*Alternating Current*) menjadi DC (*Direct Current*).



Gambar 3.3 *Transformator Pengubah Tegangan*

5. Timbangan Digital

Digunakan untuk menimbang massa bubuk KOH:

- Merk : Shimadzu
- Type : Libror EB-330D-A
- Capacity : 330 g/ 60 g
- Readability : 0.01 g/ 0.001 g



Gambar 3.4 *Timbangan Digital*

6. Gelas Ukur

Digunakan untuk mengukur volume air aquades.

- Merk : HERMA
- Capacity : 500 ml
- Accuracy : 5 ml



Gambar 3.5 *GelasUkur*

7. Clamp AC/DC Amperemeter

Amperemeter digunakan untuk mengukur arus yang dibutuhkan oleh generator HHO untuk melakukan proses elektrolisa air.

Spesifikasi :

- Merk : Constant Instrument
- Range Ampere : 400-1000 Ampere AC/DC
- Range voltage : 0,4 – 1000 V DC/ 4 – 700 V AC
- Range Temperatur : 400 – 750 °C
0 – 400 °C
-40 – 0 °C



Gambar 3.6 *Clamp AC/DC Ampere meter*

8. Multitester Digital

Multitester digunakan untuk mengukur tegangan yang dibutuhkan oleh generator HHO. Spesifikasi :

- Merk : Prohex
- Buatan : China



Gambar 3.7 *Multitester Digital*

9. Alat Ukur Debit Sederhana

Alat ukur untuk mengukur debit dari gas HHO dengan volume 500cc.



Gambar 3.8 *Alat Ukur Debit Sederhana*

10. Stop Watch

Digunakan untuk menghitung waktu pengujian generator gas HHO dan waktu konsumsi bahan bakar. Dengan akurasi 0,01 detik.

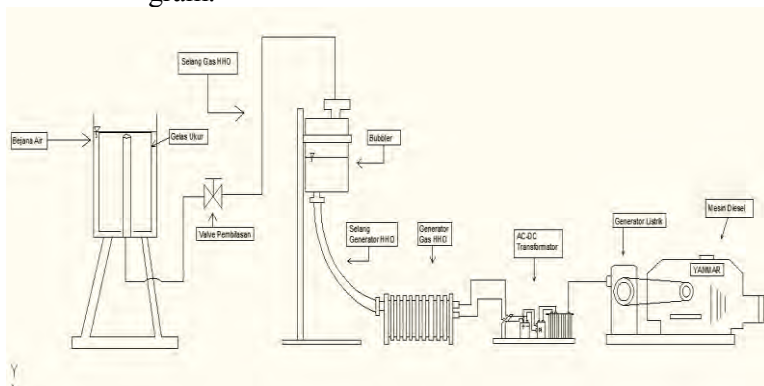


Gambar 3.9 *Stop Watch Digital*

3.2.2 Prosedur Pengujian

Langkah –langkah pelaksanaan pengujian laju produksi gas HHO:

1. Persiapkan rangkaian peralatan yaitu mesin diesel, generator listrik, transformator AC ke DC, generator HHO dengan katalis 4 gram KOH dalam 1 liter aquades dan alat ukur.
2. Nyalakan mesin diesel agar dapat menggerakkan generator listrik.
3. Setelah ada sumber daya listrik sambungkan dengan transformator AC ke DC kemudian arus listrik disambungkan, kabel negatif ke katoda dan kabel positif ke anoda.
4. Periksa setiap sambungan selang-selang generator HHO dan pastikan tidak terdapat kebocoran.
5. Nyalakan generator gas HHO selama 20 menit.
6. Catat waktu setelah gelas ukur debit mencapai 500cc.
7. Catat *Voltage* dan arus listrik selama pengukuran.
8. Matikan generator gas HHO dan mesin diesel.
9. Ulangi langkah 1-7 dengan mengganti larutan elektrolit yaitu 6 gram, 8 gram, 10 gram, dan 12 gram.



Gambar 3.10 Skema Pengujian Gas HHO

3.3 Pengujian Generator HHO pada Engine

Sub bab ini berisi tentang pengaruh variasi tegangan pada generator HHO terhadap unjuk kerja engine.

3.3.1 Peralatan yang digunakan

1. Engine dengan spesifikasi berikut ini:

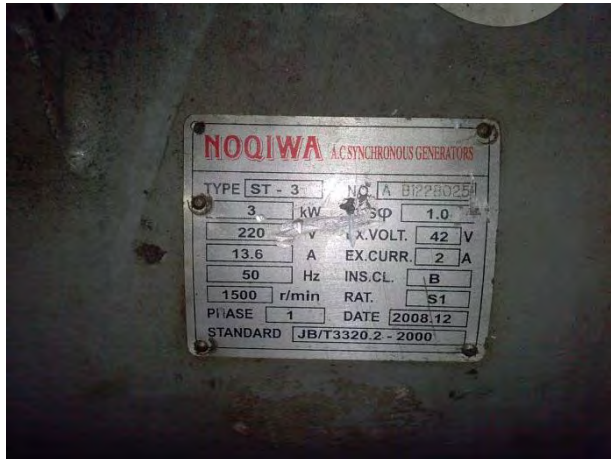
- Merk : Yanmar
- Tipe mesin : TF55-di 4 langkah pendinginan cairan
- Volume langkah : 353 cc
- Kapasitas pelumas mesin : 1,8 liter pada penggantian periodic
- Daya Kerja : 4,5 DK / 2200 rpm
- Daya maksimum : 5.5 DK / 2200 rpm



Gambar 3.11 Mesin yang digunakan untuk pengujian

2. Generator Listrik

- Merk : Noqiwa
- Frekuensi : 50Hz
- Voltage : 220V
- Putaran Generator : 1500 rpm
- Kemampuan : 3 KW
- Efisiensi Generator : 0.85



Gambar 3.12 Generator listrik

3. Tabung ukur konsumsi bahan bakar

- Merek : IWAKI pyrex
- Kapasitas : 25 ml
- Akurasi : 0,03 ml
-



Gambar 3.13 Tabung ukur

4. Tachometer

- Merk : COMPACT Instrument Limited
- Tipe : CT6
- Buatan : England
- Range : 0 – 99999 RPM
- Akurasi : 1 digit



Gambar 3.14 *Digital Tachometer*

5. Stop Watch

- Merk : CASIO
- Tipe : HS-3
- Akurasi : 0,01 detik



Gambar 3.15 *Stopwatch*

6. Blower

- Buatan : China
- Ukuran : 4 in
- Frekuensi : 50 Hz
- Volts/Ampere : 220/380V / 4,2/2,4A
- Phase : 3



Gambar 3.16 *Blower*

7. **Beban lampu**



Gambar 3.17 *Beban lampu 2200 Watt*

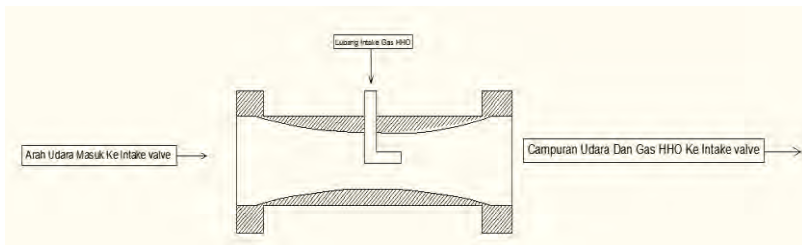
Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 200 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban.

8. Mixer Input



Gambar 3.18 *Mixer gas untuk mencampur gas HHO*

Mixer berfungsi untuk mencampur gas HHO dengan udara ketika dimasukkan keruang bakar. Tabung pada mixer gas ini mempunyai sifat vakum agar gas dari generator terhisap dan tidak keluar melalui lubang intake udara.



Gambar 3.19 *Arah Pencampuran Gas HHO Dengan Udara*

3.3.2 Prosedur Pengujian

A. Jenis Pengujian

Pengujian yang dilakukan ada 2 kelompok, yaitu:

1. Kelompok Kontrol

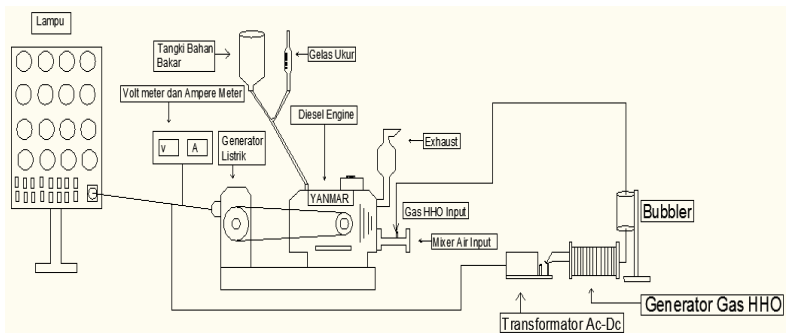
Pengujian ini menggunakan mesin Diesel Putaran Konstan Yanmar TF55-di standar

2. Kelompok Uji

Pada kelompok uji ini, pengujian menggunakan generator HHO dengan variasi besarnya jumlah katalis KOH pada generator HHO.

B. Skema Pengujian

Dalam melakukan pengujian pengaruh penambahan generator HHO pada mesin, maka semua peralatan akan di atur seperti pada gambar 3.23 berikut ini.



Gambar 3.20 Skema Pengujian Pengaruh Penambahan Generator HHO pada Mesin

C. Tahapan Pengujian

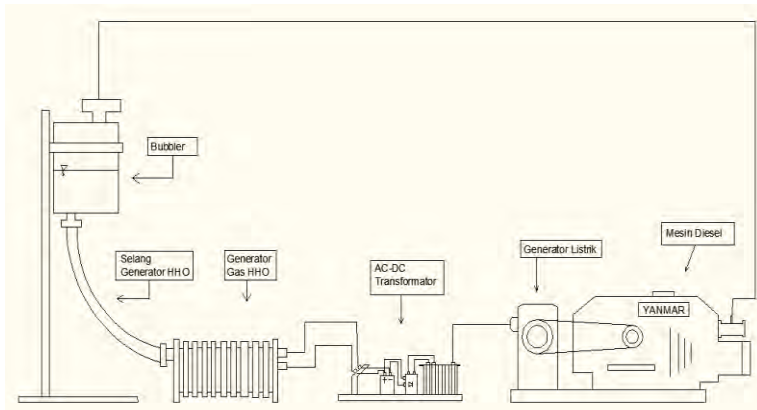
Setelah genset terpasang baik pada dudukannya, dilakukan persiapan pengujian:

1. Sebelum menghidupkan genset dilakukan pemeriksaan terhadap minyak pelumas, filter, air radiator, sistem kelistrikan, dan lampu beban sehingga genset siap digunakan.
2. Pengecekan terhadap alat alat ukur yang akan digunakan dalam pengujian.
3. Saluran bahan bakar dibuka.

4. Engine dihidupkan selama 5 menit sampai engine mencapai kondisi kerjanya.
5. Pengecekan terhadap sistem kelistrikan serta larutan KOH yang digunakan generator HHO dan memastikan tidak ada saluran-saluran yang bocor.
6. Hidupkan generator gas HHO selama 20 menit kemudian pasang kabel gas pada mixer.

Tahapan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Pemberian beban pada genset dengan cara menyalakan 1 buah lampu (200 watt)
2. Pemasangan generator HHO dengan katalis KOH sejumlah 4 gram pada *intake manifold*
3. Pengukuran dan konsumsi bahan bakar dengan cara menghitung (dengan stopwatch) waktu yang diperlukan genset untuk menghabiskan 20 mL bahan bakar. Waktu konsumsi 20 mL bahan bakar dicatat.
4. Pengukuran dan pencatatan tegangan (voltmeter) output genset
5. Pengukuran dan pencatatan kuat arus (ampere) output genset.
6. Selanjutnya pengukuran dilakukan dengan menaikkan beban dari 200 watt sampai 2600 watt dengan banyak jumlah data sebanyak 8 titik.
7. Setelah mencapai 2600 watt ganti air KOH pada generator dengan jumlah 6 gram sampai 12 gram
8. Setelah pengujian selesai, beban lampu dilepaskan satu persatu.
9. Generator gas HHO dimatikan
10. Engine dimatikan.
11. Saluran bahan bakar ditutup.



Gambar 3.21 *Skema pengujian mesin diesel*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PERHITUNGAN DATA

4.1 Perhitungan Data

Perhitungan data berikut ini adalah contoh perhitungan dari unjuk kerja generator gas HHO dan pengujian mesin diesel dengan penambahan HHO tipe *Dry Cell* yang memiliki tujuan mengetahui karakteristik masing-masing generator HHO dan mesin diesel dengan variasi prosentase jumlah massa KOH pada larutan elektrolit aquades.

4.1.1 Perhitungan Unjuk Kerja Generator Gas HHO

Data Pengujian :

- Tegangan Listrik Pada Generator listrik = 220 v
- Arus Listrik Pada Generator HHO = 0.7 A
- Waktu Produksi Gas HHO = 56 sec
- Volume Gas Terukur = 500 cc

Properties Gas HHO :

- Massa Jenis Gas HHO = 0.4911167 kg/m^3
- NKB Gas HHO = 133255555.6 J/Kg
- Tekanan Gas HHO = 1 atm
- Konstanta Gas Universal (\bar{R})
 $= 0,08206 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}}$ (Chang, 2004)
- Nilai energi entalphi (h) ialah energi yang dibutuhkan untuk menguraikan gas H_2O menjadi H_2 dan O_2 pada kondisi gas ideal, STP:
 $\Delta h = +285,84 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$ (chem-is-try.org)

Reaksi endoterm yang menghasilkan energy entalpi yang bernilai positif (+).

A. Daya yang dibutuhkan Generator Gas HHO

Rumus untuk menghitung konsumsi daya listrik yang digunakan oleh generator gas HHO adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 220 \text{ V} \times 0.7 \text{ A} \\ &= 154 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi, Daya yang dibutuhkan untuk memproduksi gas HHO sebanyak 500cc adalah 154 Watt.

B. Laju Produksi Gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{HHO}}$$

Dimana:

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{56} = 8,9285 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \times \rho_{\text{HHO}} \\ &= 8,9285 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \times 0.491167 \text{ kg/m}^3 \\ &= 4,38 \times 10^{-6} \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

C. Effisiensi Generator Gas HHO

Effisiensi Generator HHO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Energi yang digunakan untuk elektrolisa}}{\text{Energi yang dibutuhkan generator}} \times 100$$

$$= \frac{\Delta h \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100\%$$

Dimana:

Δh = Energi entalphi yang dihasilkan (J/mol)

\dot{V} = Volume per detik (Liter/s)

\dot{n} = Molaritas senyawa per waktu (mol/s)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

- Energi yang digunakan untuk elektrolisa (output)

$$\text{Daya (P)} = V \times I$$

$$= 220 \text{ V} \times 0.7 \text{ A} = 154 \text{ Watt} = 154 \text{ J/s}$$

- Energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO (input)

Untuk mencari nilai \dot{n} , menggunakan rumus gas ideal:

$P \times \dot{V} = \dot{n} \times R \times T$ (Nilai volume dan mol adalah per satuan waktu untuk menyamakan energi yang digunakan per satuan waktu).

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = Molaritas senyawa (mol)

\bar{R} = Konstanta Gas universal (L.atm/mol.K)

T = Suhu, 298°K.

$$\dot{n} = \frac{P \times \dot{V}}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times \left(\frac{0.5 \text{ L}}{56 \text{ dtk}}\right)}{0,08206 \frac{\text{L.atm}}{\text{mol.K}} \times 298^\circ \text{ K}}$$

$$\dot{n} = 3,651 \times 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

Sehingga energi yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan gas HHO adalah:

$$\begin{aligned} \Delta h f \times \dot{n} &= 285,84 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \times 3,651 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{s}} \\ &= 94,5024 \frac{\text{J}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Maka, Efisiensi yang didapatkan :

$$\begin{aligned} \eta_{\text{Gen}} &= \frac{\Delta h f \times \dot{n}}{(V \times I)} \times 100 \% \\ &= \frac{94,5024 \text{ J/s}}{154 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 67,769 \% \end{aligned}$$

4.1.2 Perhitungan Unjuk Kerja Engine

Data perhitungan diambil dari pengujian mesin diesel putaran konstan dengan penambahan generator gas HHO tipe *Dry Cell* dengan kandungan elektrolit 4 gram KOH per liter aquades.

A. Daya Efektif (N_e)

Untuk menghitung daya efektif diperlukan data-data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tegangan Listrik pada Generator Listrik} &= 220 \text{ v} \\ \text{Arus Listrik pada Beban Lampu} &= 9.9 \text{ A}\end{aligned}$$

Dengan rumus daya adalah $N_e = \frac{V \times I}{\eta_{gen} \times 1000} \text{ KWatt}$
maka:

$$N_e = \frac{V \times I}{\eta_{gen} \times 1000}$$

$$N_e = \frac{220 \text{ v} \times 9.9 \text{ A}}{0.85 \times 1000}$$

$$N_e = 2.178 \text{ Kilo Watt}$$

B. Momen Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil perkalian gaya tangensial dengan lengannya. Putaran yang dibutuhkan pada generator listrik adalah 1500 rpm untuk menghasilkan listrik 220v. Karena adanya perbandingan pulley maka putaran engine diesel di set pada 2045 rpm. Dengan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{N_e}{2\pi n}$$

$$T = \frac{2.178 \text{ KW} \times 60 \text{ s} \times 1000}{6.28 \times 2045}$$

$$T = 10.1755 \text{ N.m}$$

C. Tekanan Efektif Rata-Rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

Perumusan bmep adalah :

$$bmep = \frac{N \times z}{A \times L \times n \times i} \text{ kPa}$$

$$bmep = \frac{2.178 \text{ KW} \times 2 \times 60 \text{ s}}{353 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 2045 \times 1}$$

$$Bmep = 362.052 \text{ KPa}$$

D. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Berikut rumus dari perhitungan Sfc :

Menghitung Volume :

$$\begin{aligned} v &= 20 \text{ ml} \times \frac{10^{-3} \text{ l}}{\text{ml}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{l}} \\ &= 20 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menghitung massa bahan bakar :

$$\begin{aligned} m_{bb} &= \rho \times v \\ &= 860 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 20 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 0.0172 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menghitung sfc :

$$sfc = \frac{m_{bb}}{Ne \times s}$$

$$sfc = \frac{0.0172 \text{ Kg} \times 3600}{2.178 \text{ KW} \times 78s}$$

$$Sfc = 0.3644 \text{ Kg/Kw.Jam}$$

E. Efisiensi Thermal

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$NKB = (16610 + 40 (^\circ\text{API})) \times 0.55556 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

$$^\circ\text{API} = \frac{141.5}{SG} - 131.5$$

$$^\circ\text{API} = \frac{141.5}{0.86} - 131.5$$

$$^\circ\text{API} = 33.034$$

Menghitung NKB :

$$NKB = (16610 + 40 (33.034)) \times 0.55556 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

$$NKB = 9961.996 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}}$$

Menghitung efisiensi :

$$\eta_{th} = \frac{1}{sfc \times NKB} \times 100\%$$

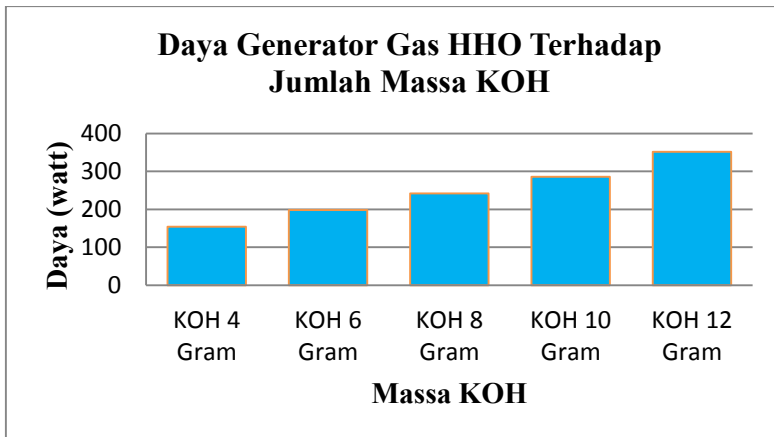
$$\eta_{th} = \frac{1}{0.3644 \text{ Kg} / \text{KW.Jam} \times 9961.966 \text{ KCal} / \text{Kg} \times 4.186 / 3600} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 27.865 \%$$

4.2 Analisa Data Generator Gas HHO

Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik serta analisa dari data-data yang telah diambil. Adapun yang akan dianalisa adalah parameter performa generator gas HHO seperti jumlah masa KOH terhadap Daya, jumlah masa KOH terhadap laju produksi, serta jumlah masa KOH terhadap efisiensi generator HHO.

4.2.1 Daya Yang Dibutuhkan Generator Gas HHO



Gambar 4.1 *Daya Generator Gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH*

Pada Gambar 4.1 grafik daya generator terhadap fungsi jumlah massa KOH memperlihatkan tren grafik yang terus naik. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya generator HHO pada pengujian semakin meningkat dengan seiring bertambahnya jumlah massa KOH. Grafik yang memiliki nilai paling rendah adalah grafik yang memiliki larutan elektrolit dengan kadar 4 gram per liter aquades. Sedangkan

yang paling tinggi adalah yang menggunakan larutan elektrolit 12 gram per liter aquades.

Kenaikan daya ini disebabkan oleh besarnya arus yang digunakan oleh generator gas HHO. Semakin banyak kadar KOH dalam larutan elektrolit maka akan meningkatkan kecepatan reaksi elektrolisis pada generator gas HHO. Dengan semakin meningkatnya kecepatan reaksi elektrolisis maka arus yang digunakan pada generator gas HHO akan menjadi semakin besar. Besarnya daya yang dibutuhkan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

Dimana:

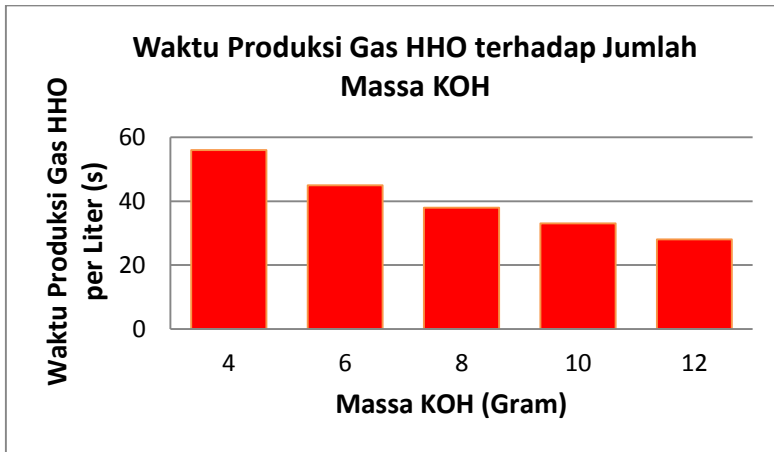
P = Daya yang dibutuhkan generator HHO (watt)

V = Beda potensial/voltase (volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Daya yang paling kecil yang dibutuhkan untuk mengelektrolisa elektrolit adalah dengan kandungan massa 4 gram per liter aquades yaitu sebesar 154 watt. Sedangkan daya yang paling besar adalah dengan kandungan elektrolit 12 gram per liter aquades yaitu sebesar 352 watt. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin besar jumlah massa KOH pada elektrolit larutan akan meningkatkan kecepatan elektrolisis. Semakin cepatnya proses elektrolisis ini disebabkan oleh berkurangnya hambatan antara cairan elektrolit dan elektroda, dengan tegangan listrik yang sama seiring mengecilnya hambatan maka jumlah arus listrik akan semakin besar.

4.2.2 Waktu Produksi Gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH



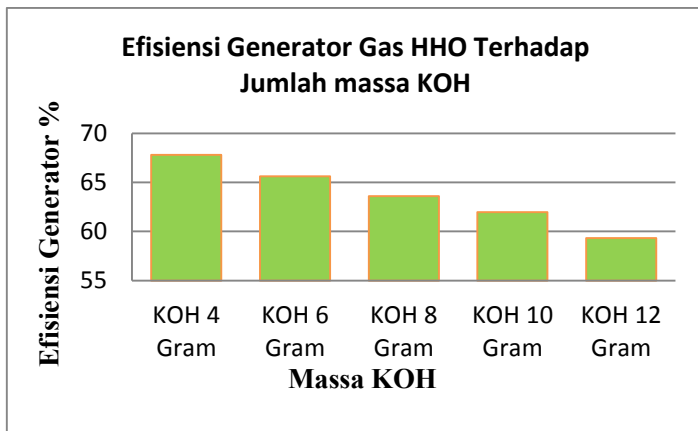
Gambar 4.2 Jumlah Massa KOH Terhadap Laju Produksi

Prosentase massa KOH pada larutan elektrolit sangat berpengaruh terhadap laju produksi gas HHO. Pada grafik 4.2 menunjukkan bahwa elektrolit dengan kandungan massa 4 gram KOH memiliki waktu laju produksi yang lebih tinggi dalam mencapai 1 liter gas HHO dibandingkan dengan larutan elektrolit yang memiliki kandungan massa 12 gram per liter aquades.

Waktu laju produksi gas HHO dipengaruhi oleh besarnya kecepatan reaksi. Semakin besar kecepatan reaksi elektrolit maka semakin cepat pula proses elektrolisis sehingga proses menghasilkan gas HHO juga semakin cepat. Dengan semakin cepatnya reaksi elektrolisis juga menyebabkan daya yang dibutuhkan generator semakin besar. Apabila daya semakin besar, laju produksi gas HHO pun juga semakin cepat. Dalam grafik diatas diukur waktu laju produksi per liter gas HHO.

Laju produksi pada kandungan elektrolit 4 gram KOH memiliki waktu yang paling tinggi dalam mencapai 1 liter gas HHO. Yaitu memiliki waktu 112 detik dalam 1 liter gas HHO. Sedangkan elektrolit yang memiliki larutan 12 gram KOH mempunyai waktu yang paling sedikit dalam mencapai 1 liter gas HHO yaitu 56 detik. Hal ini sesuai dengan analisa teori diatas yang apabila semakin besar massa KOH dalam larutan aquades menyebabkan proses elektrolisis menjadi lebih cepat dan jumlah produksi gas HHO semakin besar.

4.2.3 Efisiensi Generator Gas HHO



Gambar 4.3 Nilai Efisiensi Terhadap Jumlah Massa KOH

Dari grafik 4.3 diatas memiliki karakteristik bahwa semakin besar jumlah KOH pada larutan elektrolit maka nilai efisiensinya akan semakin rendah. Nilai efisiensi tertinggi dimiliki oleh generator gas dengan campuran elektrolit 4 gram KOH perliter aquades. Semakin besar nilai massa KOH efisiensinya akan semakin mengecil seperti pada jumlah massa 12 gram KOH.

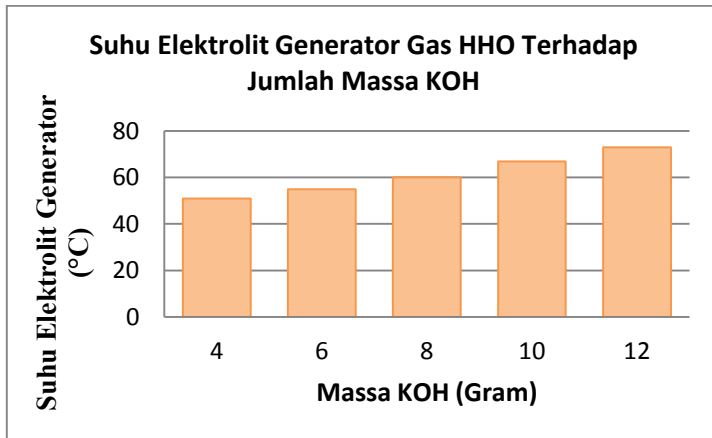
Efisiensi generator gas HHO didapatkan dengan menggunakan perumusan :

$$\eta = \frac{\Delta h \times n}{(V \times I)} \times 100\%$$

dari perumusan tersebut terdapat Δh atau besaran energi enthalpi yang dibutuhkan untuk memecahkan molekul H_2O menjadi gas H_2 dan O_2 . Sedangkan n adalah besarnya jumlah mol/second. Perumusan efisiensi diatas adalah perbandingan antara energi untuk menghasilkan gas HHO dan besarnya energi yang dibutuhkan oleh generator gas HHO yang berupa tegangan listrik dikalikan dengan arus listrik yang masuk pada generator gas HHO.

Nilai efisiensi tertinggi yang dapat dicapai oleh generator gas HHO adalah sebesar 67.8% dengan menggunakan elektrolit yang memiliki kandungan sebesar 4 gram KOH per liter aquades. Sedangkan nilai efisiensi yang paling rendah adalah yang memiliki jumlah massa KOH yang paling banyak yaitu 12 gram KOH. Nilai efisiensinya sebesar 59.33 %. Penurunan nilai efisiensi ini disebabkan oleh semakin besarnya arus listrik yang digunakan oleh generator gas HHO tidak sebanding dengan besarnya laju produksi gas HHO. Selain itu semakin besarnya jumlah massa KOH pada elektrolit menimbulkan panas yang semakin besar pula pada generator gas HHO. Energi yang digunakan untuk mengelektrolisa elektrolit menjadi banyak berkurang dikarenakan berubah menjadi energi panas.

4.2.4 Suhu Elektrolit Generator Gas HHO Terhadap Jumlah Massa KOH



Gambar 4.4 *Suhu Elektrolit Generator Gas Terhadap Jumlah Massa KOH*

Grafik 4.4 diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan suhu larutan elektrolit berdasarkan jumlah massa KOH. Suhu elektrolit yang paling rendah dimiliki oleh generator gas HHO dengan massa 4 gram per liter aquades yaitu sebesar 51°C. Nilai semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah massa KOH dalam larutan elektrolit. Nilai yang paling tinggi dimiliki oleh generator gas HHO yang memiliki jumlah massa KOH sebesar 12 gram per liter aquades yang suhunya mencapai 73°C.

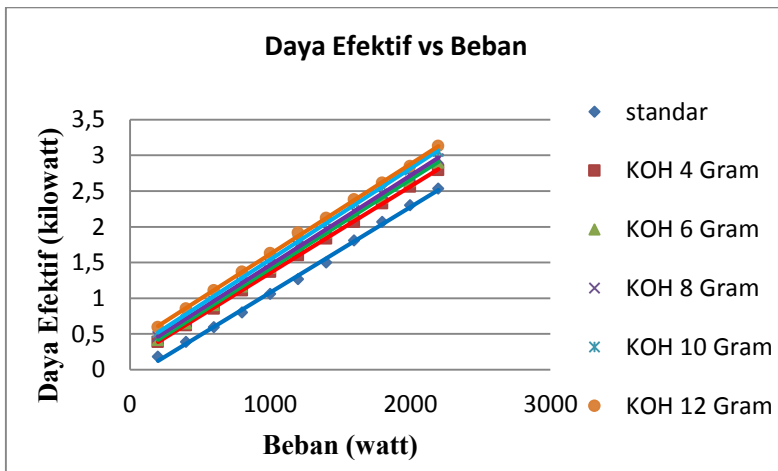
Semakin besar jumlah massa KOH maka arus yang digunakan oleh generator semakin besar. Dengan semakin besarnya arus, energi yang digunakan juga semakin besar untuk melakukan proses elektrolisis. Energi yang semakin besar ini menimbulkan jumlah anion dan kation semakin besar. Dengan

jumlah anion dan kation yang semakin besar maka gesekan yang terjadi antara ion-ion tersebut menyebabkan panas. Oleh karena itu apabila jumlah KOH semakin besar maka suhu elektrolitnya juga semakin besar.

4.3 Analisa Unjuk Kerja Mesin Diesel

Unjuk kerja mesin diesel tidak sama untuk setiap beban. Untuk itu perlu diketahui karakteristik performa engine untuk masing-masing beban yang diberikan. Selain itu penambahan generator gas HHO akan membuat karakteristik performa engine menjadi berbeda. Berikut beberapa unjuk kerja yang akan dibahas yaitu Daya Efektif, Momen Torsi, Tekanan Efektif Rata-Rata, Konsumsi Bahan Bakar Spesifik, dan Efisiensi Thermal.

4.3.1 Daya Efektif (Ne)



Gambar 4.5 Daya Efektif Terhadap Fungsi Beban

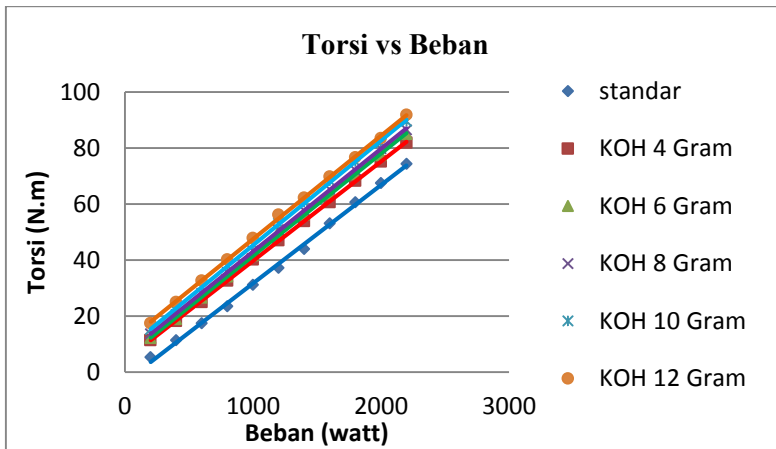
Daya motor merupakan kemampuan engine untuk menghasilkan kerja tiap satuan waktu. Daya efektif adalah besarnya daya yang dikeluarkan engine untuk mengatasi beban lampu. Besarnya daya efektif ini pasti lebih besar dari daya yang digunakan untuk beban karena adanya kehilangan efisiensi daya pada generator listrik. Daya digunakan untuk mengatasi beban yang diterima motor, yang dalam penelitian ini digunakan untuk membangkitkan listrik pada generator listrik. Dari grafik 4.5 dapat terlihat semakin besar beban maka nilai daya efektif yang dikeluarkan juga semakin besar. Untuk mengatasi beban yang semakin besar, maka bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar juga semakin besar, sehingga pembakaran pun lebih besar.

Diesel standar atau tanpa menggunakan penambahan generator HHO memiliki daya efektif yang paling rendah. Kemudian dengan penambahan generator gas HHO daya efektif pada engine meningkat hal ini dikarenakan adanya tambahan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar yaitu gas HHO. Daya efektif meningkat seiring dengan semakin besarnya jumlah massa KOH pada larutan elektrolit. Peningkatan daya terbesar terjadi pada penambahan generator gas HHO dengan larutan elektrolit 12 gram dikarenakan memiliki produksi gas yang paling besar yang masuk ke dalam ruang bakar. Dengan besarnya jumlah gas HHO yang masuk ke ruang bakar menambah nilai kalor bahan bakar dan meningkatkan daya efektif pada mesin diesel. Larutan elektrolit 4 gram memiliki daya efektif yang paling rendah dibandingkan dengan generator yang memiliki jumlah larutan elektrolit yang lebih besar.

Grafik daya efektif pada diesel standar tanpa menggunakan gas HHO memiliki daya efektif yang paling rendah yaitu 0.1811 KW. Seiring dengan meningkatnya beban maka daya efektifnya juga semakin naik karena arus yang dibutuhkan semakin besar. Daya efektif yang paling besar memiliki nilai sebesar 2.53 KW. Sedangkan dengan penambahan gas HHO memiliki nilai daya efektif yang paling tinggi dihasilkan oleh

mesin diesel dengan penambahan gas HHO dengan kandungan elektrolit sebesar 12 gram KOH per liter aquades yang memiliki daya efektif sebesar 3.131 KW. Terjadi peningkatan daya efektif sebesar 19.19% dari kondisi standar dengan beban yang sama.

4.3.2 Momen Torsi



Gambar 4.6 *Torsi Terhadap Fungsi Beban*

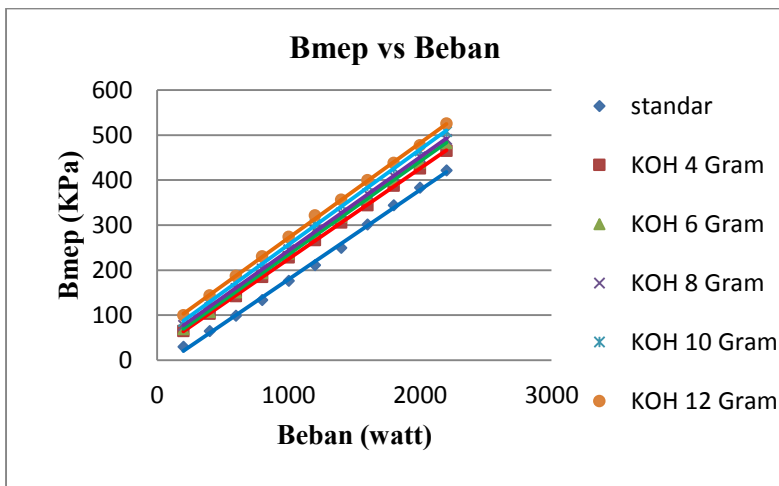
Dari grafik 4.6 diatas menunjukkan karakteristik grafik torsi yang sebanding dengan daya efektif yaitu semakin besarnya beban maka nilai torsiya juga semakin besar. Karakteristik ini berlaku untuk mesin diesel standar maupun dengan penambahan generator gas HHO. Besarnya nilai torsi diesel standar lebih kecil dari pada mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO. Sedangkan mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO dengan elektrolit 12 gram KOH memiliki karakteristik nilai torsi yang paling besar.

Besarnya nilai torsi dapat diketahui dengan membagi besarnya daya efektif dengan putaran mesin diesel. Karena daya efektif pada mesin diesel standar lebih kecil dengan daya efektif

mesin diesel yang menggunakan generator gas HHO maka besar torsi juga berbanding lurus dengan grafik daya efektif.

Diesel standar memiliki torsi terendah sebesar 5.315 N.m sedangkan pada beban terbesar yaitu pada beban 2200 watt memiliki nilai torsi sebesar 74.419 N.m. Sedangkan torsi terbesar dimiliki oleh mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO dengan larutan elektrolit sebesar 12 gram KOH dengan nilai torsi sebesar 91.885 N.m. Peningkatan ini berbanding lurus dengan besarnya daya efektif. Peningkatan nilai torsi sebesar 19% dengan mesin diesel standar.

4.2.3 Tekanan Efektif Rata-rata



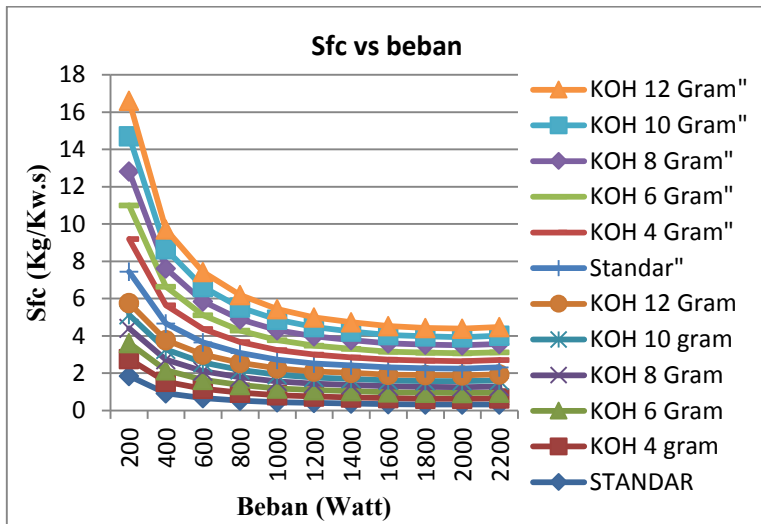
Gambar 4.7 *Bmep Terhadap Fungsi Beban*

Tekanan efektif rata-rata merupakan tekanan yang bekerja sepanjang langkah volume piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. Dari gambar 4.7 diatas terlihat bahwa besar bmep naik seiring dengan penambahan beban, hal ini disebabkan injeksi bahan bakar kedalam ruang

bakar yang semakin besar, sehingga pembakaran yang terjadi semakin besar, yang merupakan kompensasi untuk menjaga putaran engine agar tetap konstan.

Dibandingkan dengan mesin diesel standar tanpa penambahan generator gas HHO, nilai bmep mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO memiliki nilai lebih tinggi. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya gas HHO yang masuk kedalam ruang bakar. Semakin besar laju produksi yang dihasilkan oleh generator gas HHO maka gas HHO yang berada dalam ruang bakar semakin besar. Seiring dengan semakin besarnya gas HHO yang masuk ruang bakar maka pembakaran yang terjadi pada ruang bakar juga semakin besar. Oleh karena itu penambahan generator gas HHO dengan larutan elektrolit 12 gram KOH memiliki nilai bmep yang paling besar yaitu 520.597 KPa. Dibandingkan dengan bmep mesin diesel kondisi standar 421.46 KPa pada beban maksimum yaitu 2200 watt terjadi kenaikan nilai bmep sebesar 19.69%.

4.2.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik



Gambar 4.8 *Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Terhadap Fungsi Beban*

Konsumsi bahan bakar spesifik (specific fuel consumption) adalah ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan waktu per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Sfc merupakan representasi keefektifan engine dalam mengkonsumsi bahan bakar.

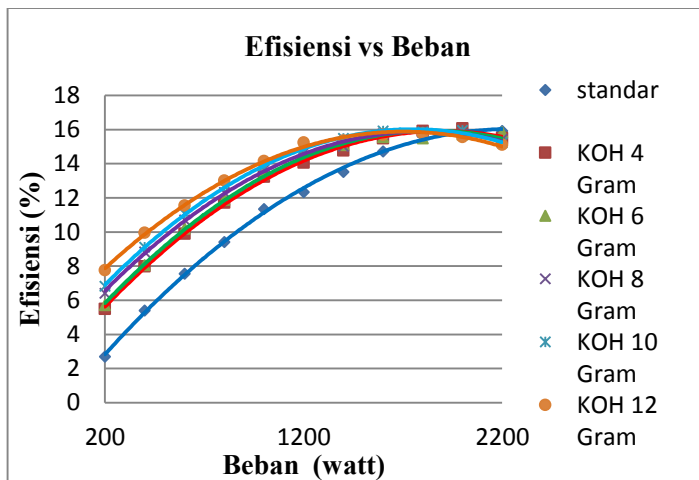
Pada grafik 4.8 diatas trendline pada grafik cenderung turun kebawah kemudian hingga titik tertentu trendline grafik tersebut akan naik lagi. Penyebab fenomena tersebut adalah pada waktu beban rendah daya yang dikeluarkan juga rendah, namun konsumsi bahan bakar yang digunakan cukup besar. Hal ini yang membuat konsumsi bahan bakar spesifik pada beban rendah cukup tinggi. Dengan semakin naiknya beban, maka terjadi

kenaikan daya dan konsumsi bahan bakar. Dalam fenomena ini kenaikan daya relatif lebih besar dari pada kenaikan konsumsi bahan bakar, sehingga pemakaian bahan bakar spesifik semakin menurun. Namun hingga kondisi beban tertentu terjadi fenomena kenaikan daya tidak sebanding dengan kenaikan konsumsi bahan bakar. Sehingga terlihat pada grafik 4.8 diatas setelah trendline menurun akan naik lagi.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan dengan penambahan generator gas HHO trendline konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih tinggi dari pada standar. Namun pada kondisi titik yang paling rendah, grafik konsumsi bahan bakar spesifik pada diesel standar dengan mesin diesel yang dipasang generator gas HHO cenderung berhimpitan. Dalam artian tidak ada perbedaan yang cukup signifikan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik. Pada diesel standar titik terendah konsumsi bahan bakar spesifik bernilai 0.3125 Kg/Kw.Jam sedangkan mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO yang memiliki nilai paling rendah dimiliki oleh mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO dengan kadar larutan elektrolit 4 gram KOH. Nilai terendah yang dimiliki yaitu 0.3098 Kg/Kw.Jam. Titik terendah ini baik mesin diesel standar maupun mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO terjadi pada pembebanan 2000 watt. Terjadi penurunan nilai konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0.88%. Penurunan nilai konsumsi bahan bakar spesifik disebabkan karena adanya tambahan gas HHO yang masuk keruang bakar, sehingga pembakaran lebih sempurna dan daya yang dihasilkan lebih besar. Penggunaan generator gas HHO dengan larutan elektrolit KOH diatas 4 gram memiliki trendline grafik yang kurang bagus. Hal ini dikarenakan jumlah gas HHO yang masuk keruang bakar untuk memberikan daya tambahan tidak sebanding dengan konsumsi daya yang digunakan untuk menyalakan generator gas HHO. Hal ini berkaitan dengan semakin menurunnya nilai efisiensi generator gas HHO apabila kadar KOH dalam larutan elektrolit semakin tinggi. Pada grafik diatas terdapat grafik yang memiliki tanda aksen, tanda aksen

pada jenis grafik diatas adalah grafik konsumsi bahan bakar spesifik yang menggunakan daya aktual lampu pada perumusan konsumsi bahan bakar spesifik. Pada penggunaan daya aktual lampu, semua grafik berada diatas grafik yang menggunakan daya efektif pada mesin. Dalam artian nilai konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya aktual lampu lebih jelek dari daya efektif mesin diesel.

4.2.5 Efisiensi Thermal



Gambar 4.9 Efisiensi Thermal Terhadap Fungsi Beban

Efisiensi thermal (η_{th}) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada motor. Efisiensi thermal mengindikasikan besarnya pengubahan energi kalor menjadi energi mekanik atau gerak.

Pada grafik 4.9 diatas terlihat trendline grafik efisiensi rendah pada beban 200 watt kemudian seiring meningkatnya

beban maka nilai efisiensi pun meningkat. Pada suatu titik tertentu terjadi titik puncak kemudian turun nilai efisiensinya. Hal ini dikarenakan beban sudah mencapai titik optimum engine. Setelah melampaui titik optimum besarnya konsumsi bahan bakar sudah tidak sebanding dengan besarnya daya yang dikeluarkan. Oleh sebab itu nilai efisiensi menurun.

Pada grafik diatas nilai efisiensi mesin diesel yang menggunakan generator gas HHO memiliki efisiensi yang lebih tinggi pada pembebanan awal. Dari grafik diatas terlihat bahwa semakin tinggi kadar larutan KOH dalam elektrolit memiliki nilai efisiensi yang semakin tinggi. Pada beban rendah campuran bahan bakar akan sangat miskin, akan tetapi dengan adanya penambahan gas HHO pada ruang bakar akan meningkatkan kualitas pembakaran sehingga daya yang diberikan menjadi besar. Sehingga nilai efisiensinya pun semakin tinggi. Pada mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO memiliki titik puncak efisiensi yang berhimpitan. Nilai efisiensi yang tertinggi dimiliki oleh generator gas dengan menggunakan larutan elektrolit KOH sebesar 4 gram per liter aquades. Nilai efisiensi yang dimiliki yaitu sebesar 27.86%. Sedangkan pada diesel standar nilai efisiensi yang paling tinggi memiliki nilai sebesar 27.619%. Terjadi peningkatan nilai efisiensi sebesar 0.88%. Peningkatan ini terjadi karena pada generator HHO dengan kadar elektrolit 4 gram KOH mampu memberikan gas HHO yang cukup untuk ruang bakar namun sedikit mengkonsumsi daya pada mesin diesel. Selain itu penambahan massa KOH pada elektrolit juga mengakibatkan pergeseran puncak titik efisiensi. Pergeseran ini disebabkan oleh penambahan beban oleh generator. Pada mesin diesel standar puncak efisiensi berada pada titik puncak yang paling kanan, kemudian setelah penambahan generator puncak bergeser ke arah kiri. Semakin besar jumlah massa KOH dalam elektrolit puncak efisiensi semakin bergeser ke kiri, hal ini disebabkan karena semakin besar jumlah KOH dalam elektrolit beban generator gas HHO semakin besar. Variasi besarnya beban generator inilah yang mempengaruhi bergesernya puncak efisiensi

karena beban generator gas sangat berkaitan konsumsi bahan bakar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dan serangkaian pengujian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Seiring dengan semakin besarnya massa KOH dalam larutan elektrolit generator gas HHO maka daya yang digunakan oleh generator gas HHO juga semakin besar. Pada kadar KOH 4 gram, 6 gram, 8 gram, 10 gram, dan 12 gram berturut-turut membutuhkan daya sebesar 154 watt, 198 watt, 242 watt, 286 watt, dan 352 watt.
2. Semakin besar kadar KOH dalam larutan elektrolit semakin besar pula laju produksinya. Berikut ini besarnya waktu yang dibutuhkan generator gas HHO untuk mencapai 1 liter gas HHO berturut-turut dari generator yang menggunakan KOH 4 gram, 6 gram, 8 gram, 10 gram, dan 12 gram yaitu 112 detik, 90 detik, 76 detik, 66 detik, dan 56 detik.
3. Semakin besar nilai KOH pada elektrolit berbanding terbalik dengan nilai efisiensinya. Nilai efisiensi thermis berturut-turut dari kadar 4 gram hingga 12 gram yaitu 67.8%, 65.63%, 63.59%, 61.96%, 59.33%.
4. Dengan menggunakan generator HHO nilai Daya Efektif, Torsi, dan Bmep tertinggi didapat dengan mesin diesel dengan penambahan generator gas HHO dengan larutan elektrolit 12 gram KOH per liter aquades meningkat sebesar 19.19%, 19%, dan 19.69% dibandingkan dengan mesin diesel standar pada beban 2200 watt.
5. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik mengalami penurunan sebesar 0.88% pada penggunaan generator HHO dengan larutan elektrolit 4 gram per liter aquades dibandingkan dengan diesel standar.

6. Terjadi peningkatan pada nilai efisiensi thermis yaitu sebesar 0.87% pada penggunaan generator HHO dengan larutan elektrolit 4 gram per liter aquades dibanding diesel standar.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selantunya adalah

1. Perlu adanya uji emisi pada pengujian mesin diesel dengan penambahan generator HHO.
2. Perlu ditingkatkannya nilai efisiensi dari generator HHO agar hasil yang digunakan pada mesin diesel semakin signifikan.

APPENDIX A

Data Pengujian

Tabel A.1 Diesel Standar

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	0.7	200	185
220	1.5	400	173
220	2.3	600	158
220	3.1	800	146
220	4.1	1000	133
220	4.9	1200	121
220	5.8	1400	112
220	7	1600	101
220	8	1800	94
220	8.9	2000	86
220	9.8	2200	76

Tabel A.2 Diesel Dengan KOH Generator 4 gram

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	1.5	200	176
220	2.4	400	160
220	3.3	600	144
220	4.3	800	131
220	5.3	1000	120
220	6.2	1200	109
220	7.1	1400	100
220	8	1600	93
220	9	1800	85
220	9.9	2000	78
220	10.8	2200	69

Tabel A.3 Diesel Dengan KOH Generator 6 gram

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	1.6	200	172
220	2.5	400	155
220	3.5	600	140
220	4.5	800	127
220	5.5	1000	117
220	6.6	1200	107
220	7.4	1400	98
220	8.4	1600	89
220	9.3	1800	80
220	10.2	2000	74
220	11.2	2200	68

Tabel A.4 Diesel Dengan KOH Generator 8 gram

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	1.8	200	171
220	2.7	400	157
220	3.7	600	139
220	4.7	800	126
220	5.7	1000	115
220	6.7	1200	105
220	7.6	1400	95
220	8.6	1600	88
220	9.5	1800	80
220	10.5	2000	72
220	11.4	2200	65

Tabel A.5 Diesel Dengan KOH Generator 10 gram

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	2	200	164
220	2.9	400	151
220	4	600	133
220	5	800	122
220	6	1000	111
220	7	1200	102
220	8	1400	93
220	9	1600	85
220	9.9	1800	77
220	10.8	2000	71
220	11.8	2200	62

Tabel A.6 Diesel Dengan KOH Generator 12 gram

voltage (v)	arus (A)	Beban (watt)	Waktu konsumsi bahan bakar (s)
220	2.3	200	162
220	3.3	400	145
220	4.3	600	129
220	5.3	800	118
220	6.3	1000	108
220	7.4	1200	99
220	8.2	1400	90
220	9.2	1600	82
220	10.1	1800	75
220	11	2000	68
220	12.1	2200	60

Tabel A.7 Pengujian Generator HHO

Jumlah KOH (Gram)	Tegangan Listrik (v)	Arus Listrik (A)	Waktu Produksi Gas HHO (s)	Volume Gas Terukur (L)	Temperatur (°C)
4	220	0.7	56	0.5	51
6	220	0.9	45	0.5	55
8	220	1.1	38	0.5	60
10	220	1.3	33	0.5	67
12	220	1.6	28	0.5	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

APPENDIX B

Data Perhitungan

Tabel B.1 Data Perhitungan Diesel Standar

dava efektif (Kw)	torsi (N.m)	bmeP. (kpa)	Sfc ¹ (Kg/Kw.Jam)	sfc _c (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.181176471	0.846447622	30.11722985	1.673513514	1.847385047	4.673053977
0.388235294	1.813816334	64.53692111	0.894797688	0.921912769	9.364150633
0.595294118	2.781185045	98.95661237	0.653164557	0.658327913	13.11341942
0.802352941	3.748553756	133.3763036	0.530136986	0.528582332	16.33223344
1.061176471	4.957764645	176.4009177	0.46556391	0.438724305	19.67734621
1.268235294	5.925133357	210.820609	0.426446281	0.403502047	21.39500929
1.501176471	7.013423157	249.5427616	0.394897959	0.368282579	23.44104914
1.811764706	8.464476224	301.1722985	0.383168317	0.33838241	25.51234874
2.070588235	9.673687113	344.1969126	0.365957447	0.318133462	27.13618989
2.303529412	10.76197691	382.9190652	0.36	0.312563841	27.6197337
2.536470588	11.85026671	421.6412179	0.370334928	0.321208866	26.87637531

Tabel B.2 Data Perhitungan Diesel Dengan Penambahan Generator HHO Katalis 4 Gram

daya efektif (Kw)	torsi (N.m)	bmepp (kpa)	Sfc' (Kg/Kw.Jam)	sfc (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.388235294	1.813816334	64.53692111	1.759090909	0.906198347	9.526534748
0.621176471	2.902106134	103.2590738	0.9675	0.623011364	13.85677782
0.854117647	3.990395934	141.9812264	0.716666667	0.503443526	17.14776255
1.112941176	5.199606823	185.0058405	0.590839695	0.424705066	20.32688267
1.371764706	6.408817712	228.0304546	0.516	0.376157804	22.95028826
1.604705882	7.497107513	266.7526072	0.473394495	0.354004681	24.38648554
1.837647059	8.585397313	305.4747599	0.442285714	0.336952625	25.62060482
2.070588235	9.673687113	344.1969126	0.416129032	0.321554252	26.84750702
2.329411765	10.882898	387.2215266	0.404705882	0.312727273	27.60529956
2.562352941	11.9711878	425.9436793	0.396923077	0.309811401	27.86511414
2.795294118	13.0594776	464.665832	0.407905138	0.321036451	26.89080945

Tabel B.3 Data Perhitungan Diesel Dengan Penambahan Generator HHO Katalis 6 Gram

daya efektif (Kw)	torsi (N.m)	bme _p (kpa)	Sfc' (Kg/Kw.jam)	sfc (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.414117647	1.934737423	68.83938252	1.8	0.869318182	9.930690768
0.647058824	3.023027223	107.5615352	0.998709677	0.617384164	13.98307657
0.905882353	4.232238112	150.5861493	0.737142857	0.488237477	17.68182586
1.164705882	5.441449001	193.6107633	0.609448819	0.41861131	20.62278261
1.423529412	6.65065989	236.6353774	0.529230769	0.371773681	23.22092845
1.708235294	7.980791868	283.9624529	0.482242991	0.338765737	25.48348045
1.915294118	8.94816058	318.3821441	0.451311953	0.329890187	26.16910227
2.174117647	10.15737147	361.4067582	0.434831461	0.320005837	26.97741431
2.407058824	11.24566127	400.1289109	0.43	0.321554252	26.84750702
2.64	12.33395107	438.8510635	0.418378378	0.316953317	27.23722889
2.898823529	13.54316196	481.8756776	0.413903743	0.314123377	27.48260934

Tabel B.4 Data Perhitungan Diesel Dengan Penambahan Generator HHO Katalis 8 Gram

daya efektif (Kw)	torsi (N.m)	bmeP (kpa)	Sfc' (Kg/Kw.Jam)	sfc (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.465882353	2.1765796	77.44430533	1.810526316	0.777246146	11.10707347
0.698823529	3.264869401	116.166458	0.985987261	0.564369813	15.29658364
0.957647059	4.47408029	159.1910721	0.742446043	0.465168897	18.55870008
1.216470588	5.683291179	202.2156861	0.614285714	0.403979	21.36974954
1.475294118	6.892502068	245.2403002	0.538434783	0.364967755	23.65395276
1.734117647	8.101712957	288.2649143	0.491428571	0.340065904	25.38604998
1.967058824	9.190002757	326.9870669	0.46556391	0.331352304	26.05362912
2.225882353	10.39921365	370.011681	0.439772727	0.316115702	27.30939961
2.458823529	11.48750345	408.7338337	0.43	0.314784689	27.42487276
2.717647059	12.69671434	451.7584478	0.43	0.316450216	27.28053133
2.950588235	13.78500414	490.4806004	0.433006993	0.322856091	26.73925094

Tabel B.5 Data Perhitungan Diesel Dengan Penambahan Generator HHO Katalis 10 Gram

dava efektif (Kw)	torsi (N.m)	bmeP (kpa)	Sfc' (Kg/Kw.Jam)	sfc (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.517647059	2.418421778	86.04922814	1.887804878	0.729379157	11.83599772
0.750588235	3.506711578	124.7713808	1.025165563	0.546326476	15.80177866
1.035294118	4.836843557	172.0984563	0.77593985	0.449692413	19.19741093
1.294117647	6.046054446	215.1230704	0.63442623	0.39219076	22.01206893
1.552941176	7.255265335	258.1476844	0.557837838	0.359213759	24.03284902
1.811764706	8.464476224	301.1722985	0.505882353	0.335064935	25.76494625
2.070588235	9.673687113	344.1969126	0.475576037	0.321554252	26.84750702
2.329411765	10.882898	387.2215266	0.455294118	0.312727273	27.60529956
2.562352941	11.9711878	425.9436793	0.446753247	0.313834925	27.50786909
2.795294118	13.0594776	464.665832	0.436056338	0.311993171	27.6702532
3.054117647	14.26868849	507.6904461	0.453958944	0.327004324	26.40004857

Tabel B.6 Data Perhitungan Diesel Dengan Penambahan Generator HHO Katalis 12 Gram

daya efektif (Kw)	torsi (N.m)	bmeP (kpa)	Sfc ¹ (Kg/Kw.Jam)	sfc (kg/kw.jam)	efisiensi (%)
0.595294118	2.781185045	98.95661237	1.911111111	0.642072903	13.44540472
0.854117647	3.990395934	141.9812264	1.067586207	0.499971502	17.26684423
1.112941176	5.199606823	185.0058405	0.8	0.431289641	20.01654858
1.371764706	6.408817712	228.0304546	0.655932203	0.38253336	22.56778345
1.630588235	7.618028602	271.0550687	0.573333333	0.351611352	24.55247819
1.915294118	8.94816058	318.3821441	0.521212121	0.326557963	26.43613393
2.122352941	9.915529291	352.8018354	0.491428571	0.324168514	26.63099487
2.381176471	11.12474018	395.8264495	0.47195122	0.317121373	27.22279475
2.614117647	12.21302998	434.5486021	0.458666667	0.315823582	27.33465936
2.847058824	13.30131978	473.2707548	0.455294118	0.319834711	26.99184845
3.131764706	14.63145176	520.5978303	0.469090909	0.329526672	26.19797056

Tabel B.7 Data Perhitungan Generator Gas HHO

Daya (Watt)	\dot{m} (Kg/s)	Mol per second	ΔH deformasi x Mol per second	η Generator
154	8.929E-06	0.000365119	104.4239781	67.807778
198	1.111E-05	0.00045437	129.9498394	65.631232
242	1.316E-05	0.00053807	153.8879677	63.5900693
286	1.515E-05	0.000619596	177.2043264	61.9595547
352	1.786E-05	0.000730238	208.8479561	59.3318057

BIOGRAFI PENULIS



Fahmi Wirawan – lahir pada 26 Agustus 1990 di Ponorogo – Jawa Timur. Riwayat pendidikan yang pernah ditempuh penulis yaitu SD Negeri 3 Bangun Sari Ponorogo, SMP Negeri 1 Ponorogo, dan SMA Negeri 3 Madiun. Kemudian melanjutkan pendidikan di jenjang sarjana (S1) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyelesaikan pendidikan selama 6 tahun dengan mengambil bidang Konversi Energi laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar di jurusan Teknik Mesin.

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif sebagai anggota dan pengurus dalam organisasi yaitu Mesin ITS Autosport. Selain itu penulis juga aktif menjadi asisten laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar. Dengan didasari adanya keinginan untuk melakukan pengembangan riset di bidang teknologi, penulis mendedikasikan tugas akhirnya pada bidang otomotif dengan tema teknologi untuk bahan bakar alternatif.

wirawan_fahmi@rocketmail.com